



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

APLICACIÓN DE CARBOHIDRATOS PARA MEJORAR LA VITALIDAD DE ÁRBOLES DE *Jacaranda mimosifolia* D. DON EN ÁREAS URBANAS DE TEXCOCO DE MORA

LUIS MANUEL MORALES GALLEGOS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

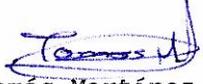
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Luis Manuel Morales Gallegos, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Tomás Martínez Trinidad, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Aplicación de carbohidratos para mejorar la vitalidad de árboles de Jacaranda mimosifolia D. Don en áreas urbanas de Texcoco de Mora

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 17 de enero de 2019


Firma del
Alumno (a)

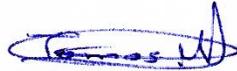

Dr. Tomás Martínez Trinidad
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: "**Aplicación de carbohidratos para mejorar la vitalidad de árboles de *Jacaranda mimosifolia* D. Don en áreas urbanas de Texcoco de Mora**", realizada por el alumno: **Luis Manuel Morales Gallegos**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Tomás Martínez Trinidad

ASESOR



Dr. Armando Gómez Guerrero

ASESOR



Dr. Ramón Razo Zárate

Montecillo, Texcoco, Estado de México, enero de 2019

APLICACIÓN DE CARBOHIDRATOS PARA MEJORAR LA VITALIDAD DE ÁRBOLES DE *Jacaranda mimosifolia* D. Don EN ÁREAS URBANAS DE TEXCOCO DE MORA

**Luis Manuel Morales Gallegos, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2019**

RESUMEN

Se realizaron dos ensayos para determinar la respuesta a la aplicación de carbohidratos en árboles de Jacaranda ya sea “trasplantados” o “establecidos”. El primer ensayo se desarrolló en la Alameda Texcoco, analizando la aplicación de glucosa y sacarosa al suelo en el crecimiento y vitalidad de arbolado recién trasplantado. Se evaluó altura, diámetro, color de follaje, fluorescencia de la clorofila, materia seca de raíces, respiración del suelo, carbono total del suelo, contenido de almidón en raíces y humedad del suelo. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.001$) con la aplicación de carbohidratos en concentraciones de 80 g L^{-1} de glucosa y 80 g L^{-1} de sacarosa, en el desarrollo de raíces finas y contenido de almidón, así como en la respiración del suelo. El segundo ensayo se llevó a cabo en el Boulevard Texcoco-Chapingo, en donde se analizó la aplicación de glucosa vía inyecciones al tronco de árboles establecidos sobre crecimiento y vitalidad. Se midieron altura, diámetro, fluorescencia de la clorofila, azúcares totales y reductores de brotes, troncos y raíces, contenido de almidón en raíces y la condición de copa de manera visual. Se observó que una concentración de 80 g L^{-1} de glucosa, estimuló el crecimiento de los árboles y en menor medida la vitalidad. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en altura y diámetro, así como en la condición de copa y contenido de almidón en el tronco. La aplicación de carbohidratos muestra resultados favorables en el crecimiento y vitalidad de árboles de jacaranda en ambientes urbanos.

Palabras Clave: Estrés, áreas urbanas, azúcares solubles, jacaranda, árboles urbanos

**CARBOHYDRATES APPLICATIONS TO IMPROVE THE VITALITY OF TREES OF
Jacaranda mimosifolia D. Don IN URBAN AREAS AT TEXCOCO DE MORA.**

**Luis Manuel Morales Gallegos, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2019**

ABSTRACT

Two studies were developed to determine the response to the application of carbohydrates in Jacaranda trees divided into two groups, "transplanted" and "established". The first study was carried out in the Alameda Texcoco, the effect of the application of glucose and sucrose to the soil on the growth and vitality of the transplanted trees was analyzed. Height, diameter, foliage color, chlorophyll fluorescence, dry roots matter, soil respiration, total soil carbon, starch content in roots and soil moisture were evaluated. Significant differences ($P \leq 0.001$) were found with the application of carbohydrates in concentrations of 80 g L^{-1} of sucrose, in the fine root production, in the starch content and soil respiration. The second study was conducted in the Boulevard Texcoco-Chapingo analyzing the effect of glucose trunk injections on growth and vitality in established trees. Height, diameter, chlorophyll fluorescence, total and reduced sugars in twigs, trunk and roots, root starch content and the crown condition in a visual way. The concentration of 80 g L^{-1} of glucose stimulate the tree growth and to a lesser extent the vitality. Significant differences were found ($P \leq 0.05$) in height and diameter, as well as in the crown condition and starch content in the trunk. The carbohydrates applications show favorable results in growth and vitality of jacaranda trees under urban environments.

Keywords: Stress, urban areas, soluble sugars, jacaranda, urban trees

DEDICATORIAS

A mis padres, María Estela Gallegos y Luis Morales

A mis hermanos, Blanca y Juan

A mis hijos, Daniela y Sebastián

A mi compañera de vida, Valeria Castañeda Portuguez

A la familia Castañeda Portuguez

A mis amigos

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por el conocimiento brindado durante mi estancia como estudiante de maestría.

A los profesores que participaron durante mi formación académica, por compartir conocimientos y experiencias que enriquecen como profesional y como ser humano.

Al Dr. Tomás Martínez Trinidad por sus consejos, paciencia, y valiosos aportes para la realización y mejora del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero por sus valiosos y pertinentes comentarios para la culminación de este trabajo.

Al Dr. Ramón Razo Zárate por sus consejos, y comentarios para mejorar el trabajo de investigación.

Al Dr. Javier Suárez por su apoyo en la parte estadística y atinados comentarios sobre el trabajo de investigación.

Al Dr. Miguel Caballero Deloya, por su apoyo en la revisión del manuscrito.

Al municipio de Texcoco de Mora, en especial al departamento de áreas verdes y jardines por facilitar la realización de esta investigación en áreas verdes urbanas municipales.

Al personal administrativo del Posgrado en Ciencias Forestales por su gran amabilidad y disposición en todo momento.

Al Q.F.B. Cecilio Bautista Bañuelos por el apoyo en el laboratorio de usos generales del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

A la M.C. Esmeralda y la Sra. Silvia, así como a su equipo de trabajo en el laboratorio de física de suelos del edificio de Edafología por su apoyo en los análisis de la respiración y carbono total del suelo.

A mi suegra, la Sra. María Eugenia Portuguez Valdes y a mi cuñada, la Srta. Belem Castañeda Portuguez por todo el apoyo en campo desde el inicio del proyecto hasta su culminación.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA	4
OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS PARTICULARES	9
CAPÍTULO I. ENMIENDAS A SUELOS URBANOS CON CARBOHIDRATOS PARA MEJORAR EL ESTABLECIMIENTO DEL ARBOLADO	10
1.1 RESUMEN.....	10
1.2 ABSTRACT	11
1.3 INTRODUCCION.....	12
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	14
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
1.6 CONCLUSIONES.....	26
1.7 LITERATURA CITADA	28
CAPÍTULO II. INYECCIONES CON GLUCOSA EN <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don PARA MEJORAR CRECIMIENTO Y VITALIDAD	34
2.1 RESUMEN.....	34
2.2 ABSTRACT	35
2.3 INTRODUCCIÓN.....	36
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	38

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
2.6 CONCLUSIONES.....	48
2.7 LITERATURA CITADA	49
CONCLUSIONES GENERALES	56
ANEXOS.....	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Descripción de los tratamientos y su simbología.	15
Cuadro 1.2. Fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) de árboles de jacaranda con enmiendas de carbohidratos (glucosa y sacarosa) al suelo a lo largo del experimento. 22	
Cuadro 1.3. Respiración del suelo y carbono total.	25
Cuadro A1. Disoluciones para preparar la curva estándar para azúcares totales.	57
Cuadro A2. Disoluciones para preparar la curva estándar para azúcares reductores..	59

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Materia seca de raíces (g) de árboles de jacaranda con enmiendas de carbohidratos (glucosa y sacarosa) al suelo. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey... 20
- Figura 1.2.** Contenido de almidón en raíces de árboles de jacaranda al final del período de evaluación con enmiendas de carbohidratos (glucosa y sacarosa) al suelo. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey..... 23
- Figura 2.1.** Incremento promedio en diámetro (mm) de árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey... 42
- Figura 2.2.** Densidad y transparencia de copa de árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando la suma de rangos de Wilcoxon..... 44
- Figura 2.3.** Evaluación de follaje con las clases de Hawksworth en árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey..... 45
- Figura 2.4.** Azúcares de reserva en tronco de árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey. 47
- Figura A1.** Curva estándar de calibración para azúcares totales por el método de antrona. 58
- Figura A2.** Curva estándar para azúcares reductores por el método de Nelson-Somogyi..... 59

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los ambientes urbanos se caracterizan por presentar condiciones poco favorables para el crecimiento del arbolado, ya que son sitios alterados que propician vulnerabilidad y estrés, a las plantas que ahí se establecen (Craul, 1992; Castillo y Ferro, 2015; Steenberg *et al.*, 2016). De tal manera, el arbolado urbano generalmente está sometido a limitaciones de espacio, deficiencias nutrimentales, falta de agua, temperaturas extremas, contaminación y daños físicos por manejo como en los trasplantes o en las podas para liberar líneas eléctricas, anuncios, entre otros (Cregg y Dix, 2001). Estas condiciones adversas afectan los patrones de crecimiento, es decir, la producción de biomasa neta, así como el ritmo periódico de la producción de flor y fruto o la conducta fenológica de las especies arbóreas, siendo la respuesta natural que tiene la vegetación a las condiciones urbanas (Percival *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2008). Así mismo, se afecta la vitalidad, el cual es un indicador de la condición de salud de un árbol que se aprecia usualmente en el follaje, y de manera más específica en el tallo y las raíces (Allikmae *et al.*, 2017). Entendiendo la vitalidad como la habilidad del árbol para crecer en situaciones de estrés, ya sean naturales o inducidas por el hombre (Lilly, 2001).

La plantación de árboles en ambientes urbanos se ve afectada por estrés post-trasplante debido a las condiciones del sitio; lo cual repercute en niveles altos de mortalidad, principalmente en árboles jóvenes (Nowak *et al.*, 1990; Koeser *et al.*, 2014). En la mayoría de los casos, la baja tasa de adaptación y supervivencia está relacionada con el estrés hídrico (Mohedano-Caballero *et al.*, 2005) lo que se encuentra muy asociado a la vitalidad de las plantas. Dada esta situación, es de suma importancia el considerar

que los factores ambientales urbanos afectarán de manera importante cualquier intento de forestación urbana (Nowak *et al.*, 1990). Por esto, se enfatiza en la búsqueda de opciones de manejo para aumentar el crecimiento y vitalidad de arbolado establecido en ambientes urbanos. (Profous, 1992; Kobza *et al.*, 2011; Labrosse *et al.*, 2011; Hauer y Peterson, 2014; Herrera *et al.*, 2014; Jankovska *et al.*, 2015; Steenberg *et al.*, 2016; Sun y Zhao, 2016). Dentro de las sugerencias se ha mencionado el uso de hongos (micorrizas), fertilizaciones foliares y, recientemente, la aplicación de carbohidratos para mejorar el desarrollo y establecimiento del arbolado dentro del ecosistema urbano (Anderson *et al.*, 1983; Harris *et al.*, 2003; Percival *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Falxa-Raymond *et al.*, 2014).

Es importante aplicar técnicas para mejorar las condiciones del arbolado urbano tanto en el trasplante de árboles como en aquellos ya establecidos para potenciar los beneficios que proveen a la población (Mohedano-Caballero *et al.*, 2005; Castillo-Islas *et al.*, 2008). El uso de carbohidratos ha mostrado la mejora significativa de biomasa en tronco y follaje, así como en raíces de arbolado urbano (Percival *et al.*, 2002; Carrillo-Mendoza *et al.*, 2005; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009). La aplicación de carbohidratos al suelo o la inyección de estos al tronco, son una opción viable para mejorar el establecimiento, crecimiento y desarrollo del arbolado urbano ya que disminuyen el estrés e incrementan las reservas de energía (Percival *et al.*, 2004, Abdin *et al.*, 1998). Si bien, la aplicación de azúcares en árboles se ha recomendado para mejorar el crecimiento y la vitalidad, no existe suficiente investigación que corrobore el efecto significativo de dicha práctica en diversas especies arbóreas, debido a que la concentración varía de acuerdo con las especies y condiciones ambientales (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013).

Jacaranda mimosifolia D. Don, es un árbol de uso urbano (Miyajima *et al.*, 2013), de porte medio, originario de Sudamérica (Miyajima *et al.*, 2005). Se caracteriza por sus flores de color lila y se considera uno de los árboles ornamentales más notables en áreas verdes urbanas; principalmente durante su floración que se presenta entre los meses de febrero y junio. La floración de este especie es su principal atractivo y por tanto su valor ornamental al interior de diversas urbes (Sánchez y Cascante, 2008). En virtud de estas características, es una especie arbórea de uso común en diferentes ciudades del mundo y dentro del valle de México (PAOT, 2010).

El establecimiento de árboles de *Jacaranda* por su porte mediano en estado maduro requiere de espacios amplios (Miyajima *et al.*, 2013); sin embargo, generalmente son trasplantados en lugares con poco espacio o inapropiados para las características de la especie, con suelos pobres o poca disponibilidad de agua, por lo que es común apreciar árboles con estresados y con variaciones en la vitalidad (Zaouchi *et al.*, 2015). Estudios enfocados en mejorar la vitalidad de las especies arbóreas en ambientes urbanos son pocos (Percival *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013) y no existen precedentes a la aplicación de carbohidratos en árboles de *Jacaranda* como mejoradores de la vitalidad. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es determinar la respuesta a la aplicación de carbohidratos, tanto en aplicaciones directas al suelo, como en soluciones inyectadas al tronco de árboles en ambientes urbanos.

LITERATURA CITADA

- Abdin, O.A, X. Zhou, B.E. Coulman, D. Cloutier, M.A. Faris, D.L. Smith. 1998. Effect of sucrose supplementation by stem injection on the development of soybean plants. *Journal of Experimental Botany*. 49(329):2103-2108.
- Allikmae, E., D. Laarmann, H. Korjus. 2017. Vitality assessment of visually healthy trees in Estonia. *Forest*. 8:223.
- Anderson, L.M., A.L. Clark, D.H. Marx. 1983. Growth of Oak seedlings with specific ectomycorrhizae in urban stress environments. *Journal of Arboriculture*. 9(6):156-159.
- Carrillo-Mendoza, O., J. Rodríguez-Alcázar, R. Cano-Medrano, A. López-Jiménez. 2005. Aplicación foliar de urea y sacarosa y su efecto en el acondicionamiento de planta de vivero y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) 'CP 99-3A' *Agrociencia*. 39:195-204.
- Castillo-Islas, V., G. Vera-Castillo, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez. 2008. Árboles en riesgo en tres áreas verdes del campus de la Universidad Autónoma Chapingo. *Revista ArbolAMA* 1:7-13.
- Castillo-Rodríguez, L., S. Ferro-Cisneros. 2015. La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: "verde con pespuntos negros". *Arquitectura y Urbanismo* 36:5-24.
- Craul, P.J. 1992. *Urban soil in landscape design*. John Wiley and sons. New York. USA. 396 p.

- Cregg, B.M., M.E. Dix. 2001. Tree moisture stress and insect damage in urban areas in relation to heat islands effects. *Journal of Arboriculture*. 27:8-17.
- Falxa-Raymond, N., M.I. Palmer, T. McPhearson, K.L. Griffin. 2014. Foliar nitrogen characteristics of four tree species planted in New York City forest restoration sites. *Urban Ecosystems*. 17:807-824.
- Harris, R.W., J.R. Clark, N.P. Matheny. 2003. *Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs, and vines*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. USA. 592 p.
- Hauer, R., W. Peterson. 2014. *Municipal tree care and management in the United states: A 2014 Urban & Community Forestry Census of Tree Activities*. Technical report. USDA-USA. 79 p.
- Herrera, D.R., J.D.P. León, M.R. Ruiz, N.W.V. Osorio, G.L. Correa, R.R. Esteban, A.B. Uribe. 2014. Evaluación de requerimientos nutricionales en vivero de especies tropicales empleadas en silvicultura urbana. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*. 11(21):41-54.
- Jankovska, I., G. Brumelis, O. Nikodemus, R. Kasparinskis, V. Amatniece, G. Strupmanis. 2015. Tree species establishment in urban forest in relation to vegetation composition, tree canopy gap area and soil factors. *Forests*. 6:4451-4461.
- Kobza, M., G. Juhásová, K. Adamčíková, E. Onrusková. 2011. Tree injection in the management of Horse-Chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera:Gracillariidae). *Gesunde Pflanzen*. 62:139-143.

- Koeser, A.K., E.F. Gilman, M. Paz, C. Harchick. 2014. Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13:655-661.
- Labrosse, K.J., R.C. Corry, Y. Zheng. 2011. Effects of tree stabilization systems on tree health and implications for planting specifications. *Arboriculture & Urban Forestry*. 37(5):219-225.
- Lilly, S.J. 2001. *Arborists certification study guide*. International Society of Arboriculture, Champaign, IL. 222 p.
- Martínez, C.F., M.A. Cantón, F.A. Roig. 2008. La dendrocronología y la variabilidad hídrica en el crecimiento de árboles urbanos. In M. Agueda. (coord.), *Bioindicadores de la contaminación ambiental*. 73-109.
- Martínez-Trinidad, T., F.O. Plascencia-Escalante, L. Islas-Rodríguez. 2013. La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(3):459-468.
- Martínez-Trinidad, T., W.T. Watson, M.A. Arnold, L. Lombardini, D.N. Appel. 2009. Carbohydrate injections as a potential option to improve growth and vitality of live Oaks. *Arboriculture & Urban Forestry*. 35(3):142-147.
- Miyajima, I., A. Kato, J.C. Hagiwara, D. Mata, G. Facciuto, M.S. Soto, A. Escandon, M.Mori, N. Kobayashi. 2005. Promotion of immature seed germination in *Jacaranda mimosifolia*. *Hortscience*. 40:1485-1486.

- Miyajima, I., C. Takemura, N. Kobayashi, M.S. Soto, G. Facciuto. 2013. Flower bud initiation and Development of *Jacaranda mimosifolia* (Bignoniaceae) in Japan. *Acta Horticulturae*. 1000(7):71-76.
- Mohedano-Caballero, L., V.M. Cetina-Alcalá, A. Chacalo-Hilu, A. Trinidad-Santos, F. González-Cossio. 2005. Crecimiento y estrés post-trasplante de árboles de pino en suelo salino urbano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11:43-50.
- Nowak, D.J., J.R. McBride, R.A. Beatty. 1990. Newly planted street tree growth and mortality. *Journal of Arboriculture*. 16(5):124-129.
- Percival, G.C. 2002. One lump or two? The influence of sugar feeding on root vigor of urban trees. *Tree Line*. January Publ. International Society of Arboriculture United Kingdom.
- Percival, G.C., G.A. Fraser, S. Barnes. 2004. Soil injections of carbohydrates improve fine root growth of established urban trees. *Arboricultural Journal*. 28:95-101.
- POAT (Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial). 2010. Presente y Futuro de las Áreas Verdes y del Arbolado de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. Reporte. México, D.F. 261 p.
- Profous, G.V. 1992. Tree and urban forestry in Beijing, China. *Journal of Arboriculture*. 18(3):145-154.
- Sánchez, G.J., M.A. Cascante. 2008. Árboles ornamentales del valle central de Costa Rica: Especies con floración llamativa. 1era. Ed. In Bio. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. 104 p.

Steenberg, J.W.N., A.A. Millward, D.J. Nowak, P.J. Robinson, A. Ellis. 2016. Forecasting urban forest ecosystem structure, function, and vulnerability. *Environmental Management*. 59(3):373-392.

Sun, Y., S. Zhao. 2016. Leaf litter decomposition in urban forests: test of the home-field advantage hypothesis. *Annals of Forest Science*. 73(3):1-10.

Zaouchi, Y., S. Rezgui, T. Bettaieb. 2015. Potential of arbuscular mycorrhization and fertilizer application in the improvement of the status nutrition and growth of *Jacaranda mimosifolia* D. Don grown under urban environment. *Journal of New Sciences*. 18(5):679-688.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

-Evaluar el efecto de los carbohidratos, a través de aplicaciones vía soluciones e inyecciones al tronco en la vitalidad y crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* D. Don, en ambientes urbanos.

OBJETIVOS PARTICULARES

-Analizar el efecto de la aplicación de carbohidratos al suelo en la vitalidad y crecimiento de árboles de Jacaranda trasplantados en áreas urbanas.

-Conocer la respuesta de las inyecciones en el tronco de carbohidratos en la vitalidad y crecimiento de árboles de Jacaranda ya establecidos en áreas urbanas.

CAPÍTULO I. ENMIENDAS A SUELOS URBANOS CON CARBOHIDRATOS PARA MEJORAR EL ESTABLECIMIENTO DEL ARBOLADO

1.1 RESUMEN

El establecimiento de árboles en espacios urbanos implica considerar aspectos climáticos, edáficos, y de especies para favorecer una plantación exitosa. En virtud de la alteración del suelo en ambientes urbanos y presencia de suelos pobres, este se convierte en un aspecto importante de considerar. Las enmiendas a suelos urbanos con carbohidratos son una alternativa para mejorar las características del suelo y favorecer el establecimiento del arbolado. Por tanto, el trabajo tuvo como objetivo evaluar enmiendas de glucosa y sacarosa en árboles de *Jacaranda mimosifolia* D. Don plantados en espacios urbanos sobre el crecimiento y vitalidad. Se aplicaron ocho tratamientos de carbohidratos y un testigo (agua). Se evaluó altura (m) y diámetro (cm), color de follaje y fluorescencia de la clorofila (F_v/F_m). Además, se registró materia seca de raíces (g), contenido de almidón en raíces, respiración neta (CO_2) y humedad del suelo. En cuanto al crecimiento en altura y diámetro, no se encontró diferencias significativas ($P \geq 0.05$). El análisis de color verde del follaje de los árboles ni la fluorescencia de la clorofila fueron significativas. Por otra parte, la materia seca de raíces fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con 80 g L^{-1} de glucosa y 80 g L^{-1} de sacarosa. La respiración neta del suelo presentó significancia estadística para la concentración más alta de carbohidratos. La aplicación de enmiendas de carbohidratos al suelo estimula el crecimiento de raíces y mejora la actividad de la microbiota.

Palabras clave: Sacarosa, glucosa, árboles urbanos, raíces, plantación urbana.

1.2 ABSTRACT

The establishment of trees in urban sites requires considerations on weather and soil factors and species in order to achieve a successful plantation. Because of the soil alteration and presence of poor soils in urban environments, this becomes an important aspect to consider. The amendments to urban soils with carbohydrates are an alternative to improve soil characteristics and improve the tree establishment. Therefore, the work aimed to evaluate amendments with carbohydrates (glucose and sucrose) in *Jacaranda mimosifolia* D. Don trees planted in urban spaces on growth and vitality. Eight treatments of carbohydrates and one control (water) were applied. Height (m) and diameter (cm) growth were evaluated, as well as the foliage color and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm). In addition, root dry matter (g), starch content in roots, as well as soil respiration (CO₂) and soil moisture were evaluated. Regarding the growth in height and diameter, no significant differences were found ($P \geq 0.05$). The green color analysis of the foliage was neither significant nor the chlorophyll fluorescence. On the other hand, the roots dry matter was statistically significant ($P \leq 0.05$) with 80 g L⁻¹ of glucose and 80 g L⁻¹ of sucrose. Net soil respiration presented statistical significance for the highest concentration of carbohydrates. The application of carbohydrate amendments to the soil stimulates the growth of roots and improves soil microbiota activity.

Keywords: Sucrose, glucose, urban trees, roots, urban plantation.

1.3 INTRODUCCION

La plantación de árboles en las ciudades se realiza en diferentes partes del mundo con la intención de promover los beneficios ambientales provenientes de la vegetación arbórea (Pincetl *et al.*, 2012; Koeser *et al.*, 2014; Abreu-Harbich *et al.*, 2015). Sin embargo, para el éxito en el establecimiento de árboles urbanos se debe considerar aspectos climáticos y de suelo, así como de especies para lograr una plantación exitosa (Koeser *et al.*, 2014). En la mayoría de los casos, cuando las condiciones climáticas son favorables y se utilizan especies arbóreas adecuadas al sitio de plantación, el principal problema para el desarrollo de las plantas en sitios urbanos es la condición del suelo, en particular las características que afectan directamente el crecimiento de raíces (Day *et al.*, 2010).

Los suelos urbanos (Tecnosoles, de acuerdo con la WRB, 2007) no presentan un arreglo definido de horizontes y poseen material artificial de origen antropogénico (Civeira y Lavado, 2006). En la mayoría de los casos son suelos muy alterados por la constante remodelación, adecuación o construcción de nueva infraestructura urbana (Pereira *et al.*, 2016; Guillard *et al.*, 2018). La alteración física de las capas del suelo modifica sus propiedades generales (Scharenbroch *et al.*, 2013), como infiltración, aireación, diversidad de microfauna, contenido de nutrientes, textura, densidad, pH y la concentración de sales o carbonatos (Pereira *et al.*, 2016); lo anterior, limita el desarrollo de las raíces y por consiguiente el crecimiento de las plantas (Ow y Yusof, 2018).

Los árboles en áreas urbanas enfrentan estrés fisiológico posterior al evento de plantación, debido al proceso de adaptación que tiene la vegetación a las nuevas condiciones ambientales y de suelo (Mohedano-Caballero *et al.*, 2005). Es común usar

árboles jóvenes en las plantaciones urbanas, por razones de manejo al interior de la ciudad (Koeser *et al.*, 2014). Sin embargo, los árboles de corta edad son más vulnerables a presentar estrés y morir, debido que cuenta con pocas reservas energéticas para afrontar situaciones estresantes (Day *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2018). Por esto, el porcentaje de éxito en forestaciones urbanas es bajo, con tasas de mortandad que oscilan entre un 30% y un 50% tan solo en el primer año (Percival y Fraser, 2005).

El uso de enmiendas en suelos urbanos es una estrategia viable para mejorar de manera indirecta las características físicas, químicas y biológicas de los suelos (Scharenbroch *et al.*, 2013); esta mejora del suelo ayuda en el desarrollo y establecimiento de la vegetación. Las enmiendas abarcan abonos orgánicos, fertilizantes y recientemente el uso de carbohidratos como sacarosa, glucosa, fructosa y almidón (Percival *et al.*, 2004; Percival y Fraser, 2005; Martínez-Trinidad *et al.*, 2010). Sin embargo, alrededor del 1 al 4% del componente vivo de la materia orgánica del suelo está constituida por la microbiota, la cual actúa en procesos de descomposición y mineralización de elementos orgánicos (Bach *et al.*, 2018; Paolini, 2017). La biodiversidad en la microfauna del suelo se considera como un indicador de calidad de suelo (Schloter *et al.*, 2018). El uso de enmiendas de carbohidratos en el suelo implica que pequeñas cantidades de estos sean aprovechados por los microorganismos, incrementando así la microfauna del suelo (Percival y Fraser, 2005).

La aplicación de sacarosa al sistema de raíces de árboles plantados en suelos urbanos mejora el establecimiento de estos incrementando la tasa de supervivencia (Percival *et al.*, 2004; Al-Habsi y Percival, 2006). Las soluciones de carbohidratos al suelo promueven el desarrollo de raíces finas en árboles, principalmente con el uso de sacarosa

(Percival *et al.*, 2004). Un adecuado desarrollo del sistema de raíces en un árbol recién plantado es clave para un adecuado establecimiento y supervivencia en ambientes adversos como los que prevalecen en una ciudad (Day *et al.*, 2010). Por esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la enmienda al suelo con carbohidratos sobre el crecimiento y vitalidad de árboles plantados en áreas urbanas, como una alternativa de manejo durante las etapas iniciales del establecimiento de arbolado urbano.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y establecimiento del ensayo

El ensayo se estableció en el área verde urbana denominada “Alameda Texcoco” de la ciudad de Texcoco de Mora, cuyas coordenadas son 19°31'11.07"N y 98°52'29.68"O, a una altitud promedio de 2250 m, con un clima templado semi-seco. La temperatura media anual de 15.9°C y una precipitación aproximada de 650 mm al año. Los suelos antes de la urbanización se reconocían como vertisoles y estuvieron bajo uso agrícola (Gutiérrez y Ortiz, 1999).

Se plantaron 36 árboles de jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don) con un diámetro normal de 0.05 m y una altura de 2 m en promedio, en cepas de 0.5 m de largo x 0.4 cm de alto aproximadamente y una separación de 6 m entre plantas. Los tratamientos tuvieron un arreglo factorial 3 x 3 (0, 60, 80 g L⁻¹ glucosa; 0, 60, 80 g L⁻¹ sacarosa) (Cuadro 1.1), los cuales se aplicaron vertiendo directamente al suelo un total de 10 L de solución a una distancia de 0.5 m de la base de cada árbol posterior al trasplante, con aplicaciones estacionales por un año.

Cuadro 1.1. Descripción de los tratamientos y su simbología.

Concentración de glucosa (g L⁻¹)	Concentración de sacarosa (g L⁻¹)	Simbología de tratamiento
0	0	G0S0 (Testigo)
0	60	G0S6
0	80	G0S8
60	0	G6S0
60	60	G6S6
60	80	G6S8
80	0	G8S0
80	60	G8S6
80	80	G8S8

Parámetros de la planta

Para evaluar el crecimiento de los árboles, se midió de manera estacional el diámetro del tronco (cm), sobre una marca indeleble hecha a 0.1 m sobre el suelo en el tronco con una cinta diamétrica (Forestry suppliers Inc. Jackson, MS) y la altura total de cada árbol (m) con un flexómetro (Truper®). También, se registró el color de follaje de cada árbol, (Mohedano-Caballero *et al.*, 2005); esto se llevó a cabo a través de imágenes tomadas con una cámara digital de 12.1 megapíxeles (Mpx) (Sony DSC-W290®), las cuales se realizaron entre las 9 y 11 h del día con una orientación al oeste y solo en aquellas estaciones en que el arbolado tenía follaje activo. De cada imagen se analizó la cantidad de píxeles (px) de color verde con el módulo “histograma” del programa de computo ImageJ® (National Institutes of health, Wayne Rasband, USA), en su versión 1.50i (Abramoff, 2004; Schneider *et al.*, 2012).

Se cuantificó la materia seca (MS) de raíces de cada árbol, esto se llevó a cabo a través de dos perforaciones realizadas en el suelo (0.05 m diámetro x 0.1 m de longitud) al norte y al sur, a una distancia de 0.5 m de la base del árbol, los cuales se rellenaron con arena (Martínez-Trinidad *et al.*, 2010). Cada dos meses y medio se colectó la arena y se colocó en bolsas de plástico dentro de una hielera a 4°C e inmediatamente se transportó al laboratorio. Las muestras se lavaron cuidadosamente para separar las raíces de la arena, posteriormente el material vegetal se secó en estufa a 70°C por 72 h hasta obtener un peso constante y finalmente se pesó en una balanza analítica (Mettler AJ 150®, precisión ± 0.0001 g).

Para evaluar la vitalidad, se registró la fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) con un fluorímetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments Ltd., King's Lynn, UK), usando un tiempo de detección de 1 s, emitiendo luz a una longitud de onda de 650 nm con una intensidad de $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Zhang *et al.*, 2016). Las mediciones se realizaron a través de adaptar por un lapso de 10 minutos a la obscuridad con clips un total de 10 hojas elegidas al azar alrededor de la copa de cada árbol (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009). Se determinó el contenido de almidón de las raíces, se colectaron al azar muestras por debajo de la base del tronco las cuales se maceraron en nitrógeno líquido y almacenaron a -20°C hasta su procesamiento en laboratorio. Se realizaron dos extracciones alcohólicas de azúcares de los tejidos colectados, cada una con 40 mL de etanol al 80% (v/v) por 20 min a 100°C (Quentin *et al.*, 2015). El resultante de la extracción se diluyó en 10 mL de agua destilada para la determinación cuantitativa; las muestras se trabajaron por triplicado. Se evaluó a través de hidrolizar el precipitado del proceso de extracción alcohólica descrito arriba, con la enzima diastasa (SIGMA®) (Palevitz *et al.*, 1970). Al

hidrolizado resultante se le aplicó el método de antrona para determinar el contenido de almidón con base en el contenido de glucosa presente en la muestra, se utilizó una curva de calibración (Anexo 1), el resultado se expresó en $\text{mg g}^{-1} \text{ ps}^{-1}$ (Witham *et al.*, 1971).

Variables del suelo

Se determinó la respiración del suelo a través del método de trampas alcalinas (Anderson, 1982), que consistió en tomar 60 g de suelo de cada cepa de plantación, usando una hielera para mantener el suelo a 4°C mientras se transportaba al laboratorio. Posteriormente, se secó a 30°C hasta obtener peso constante y se incubó en frascos de vidrio de 500 mL. Para homogeneizar la humedad de las muestras de suelo, se determinó la constante de capacidad de campo, que sirvió de referencia para estimar la cantidad de agua a adicionar, que en este caso fue de 30 mL. El suelo se depositó al interior de cada frasco y encima se colocó un tubo de ensayo (Pyrex[®]) que contenían 5 mL de hidróxido de sodio (NaOH). Los frascos se dejaron equilibrar por 24 h y 15 d, y al final de cada período se evaluó el CO₂ de la atmósfera del frasco que paso a la solución de NaOH (Anderson, 1982). El carbono total del suelo se cuantificó por el método de oxidación húmeda con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) en medio ácido. Brevemente el procedimiento es: se toman 0.5 g de suelo seco y es tamizado en malla de 0.5 mm, y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Se agregaron 10 mL de K₂Cr₂O₇ 1N y 20 mL de ácido fosfórico (H₃PO₄), se agitó y se dejó reposar por 20 min, se añadieron 200 mL de agua destilada, 10 mL de H₃PO₄ y 25 gotas de indicador de difenilamina y se tituló con sulfato ferroso (FeSO₄) a 0.5 N (Walkley y Black, 1934). La humedad del suelo se midió con un reflectómetro de dominio temporal (FieldScout[®] TDR-300, Spectrum Technologies, Inc.), con electrodos de 20 cm de longitud (área de crecimiento de raíces

finas). La humedad se midió dos veces por mes, durante la evaluación del experimento (aprox. un año).

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho tratamientos y un testigo (agua solamente), cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Se comprobaron los supuestos de normalidad con la prueba Kolmogórov-Smirnov ($n \geq 30$ y $\alpha = 0.05$) y la homogeneidad de varianzas (Test de Levene). La información fue analizada a través de la suma de cuadrados tipo III del procedimiento GLM (modelo lineal generalizado), del programa estadístico SAS® en su versión 9.4. Cuando se encontró significancia entre tratamientos se llevó a cabo una comparación de medias con la prueba de diferencia significativa honesta de Tukey (DSH) con una $\alpha = 0.05$. Cuando no se cumplieron los supuestos en los datos se utilizó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis y se comparó las medias con la suma de rangos de Wilcoxon.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura y diámetro

Después de aproximadamente un año (371 d), no se encontró evidencia estadística de que las enmiendas con carbohidratos afectarán la altura o el diámetro de los árboles de jacaranda ($P > 0.05$). La aplicación de carbohidratos directamente al suelo puede estimular el desarrollo del sistema de raíces (Percival *et al.*, 2004; Percival y Fraser, 2005), sin embargo, algunas veces los efectos en la parte aérea del árbol no son evidentes en el corto plazo. Se sabe que un buen desarrollo de las raíces posterior a la plantación ayuda al soporte y disponibilidad de recursos del suelo que son cuantificables

en muchas de las ocasiones en el largo plazo (Day *et al.*, 2010). Los resultados de este estudio son contrarios a los observados con Abedul (*Betula pendula* Roth.), que respondió favorablemente a la aplicación de una concentración de 70 g L⁻¹ de sacarosa al suelo estimulando el crecimiento tanto de raíces como de brotes (Percival y Fraser, 2005). Sin embargo, una parte de los azúcares dispuestos en el suelo pueden utilizarse por la microbiota o llegarse a perder por efecto de la lluvia o el riego, lo que puede explicar en parte la falta de significancia entre tratamientos para las variables antes mencionadas en este ensayo.

Materia seca de raíces

Hubo un efecto significativo en MS de raíces de árboles de jacaranda ($P \leq 0.05$) para el tratamiento de glucosa 80 g L⁻¹ y sacarosa con 80 g L⁻¹ (G8S8) (Figura 1.1) con un promedio de 0.034 g, siendo este el tratamiento más alto en concentración de carbohidratos. Mientras el testigo (G0S0) alcanzó un promedio de 0.006 g en MS de raíces. La aplicación de azúcares al suelo tiende a estimular inicialmente el crecimiento de las raíces (Percival *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2010), principalmente por la mejora en la actividad microbiana y la interacción con la rizosfera (Percival *et al.*, 2004). Un adecuado desarrollo de estas favorecerá en el futuro un mejor establecimiento de la planta y un mejor crecimiento (Day *et al.*, 2010). Estudios previos han demostrado el efecto positivo de la sacarosa sobre el desarrollo del sistema de raíces en árboles como castaño de Indias (*Aesculus hippocastanum* L.), cerezo (*Prunus avium* L.) y roble (*Quercus robur* L.) (Percival *et al.*, 2004).

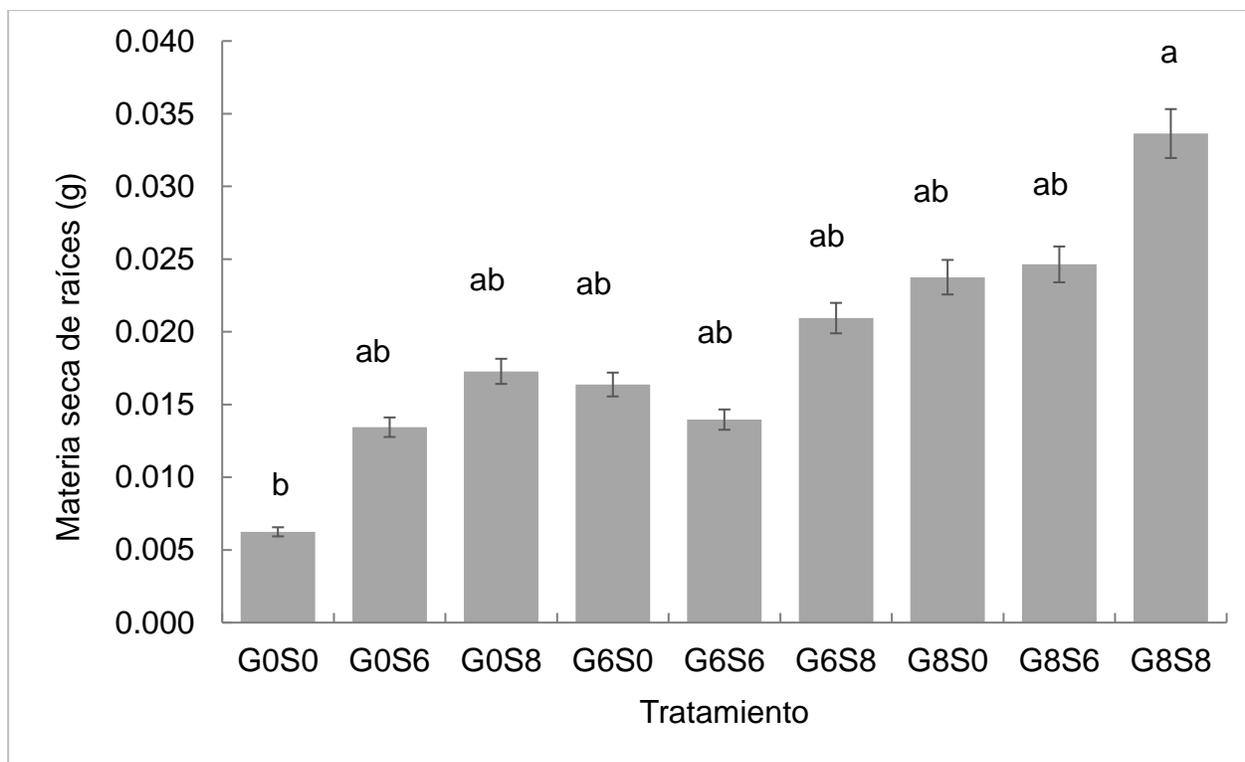


Figura 1.1. Materia seca de raíces (g) de árboles de jacaranda con enmiendas de carbohidratos (glucosa y sacarosa) al suelo. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey.

Color de follaje

El color verde del follaje de los árboles de jacaranda no fue estadísticamente significativo ($P > 0.05$). En un estudio con *Pinus greggii* Engelm utilizando el mismo método para determinar color verde del follaje y estresando los árboles al banquearlos (hasta un 90% en el corte de raíces), tampoco se encontraron diferencias estadísticas, el autor atribuye esto posiblemente a un efecto de rebrote continuo a lo largo del estudio. Lo anterior impidió encontrar diferencias significativas en el color de las copas de esta especie arbórea a través del conteo de píxeles de color verde (Mohedano-Caballero *et al.*, 2005). En situaciones de estrés ya sea biótico o abiótico la planta es capaz de mover

sus reservas energéticas según se requieran, como la producción de rebrotes fuera de temporada (Valenzuela *et al.*, 2013; Wiley *et al.*, 2016), de manera similar, en este ensayo se presentaron rebrotes continuos posiblemente inducidos por estrés al sitio de plantación, lo que pudo afectar la evaluación de color verde a lo largo del ensayo.

Fluorescencia de clorofila

En cuanto a la fluorescencia de la clorofila, esta no mostró diferencias estadísticas significativas con ningún tratamiento, no se observó variación importante a lo largo de las mediciones, el valor F_v/F_m más bajo corresponde al tratamiento sin glucosa con 80 g L^{-1} de sacarosa (G0S8) con 0.664 y el valor más alto corresponde a los tratamiento de 60 g L^{-1} de glucosa con 60 g L^{-1} de sacarosa (G6S6) y de 80 g L^{-1} de glucosa con 60 g L^{-1} de sacarosa (G8S6), con un valor de 0.776. Algunos estudios indican que valores de F_v/F_m entre 0.78 y 0.85 son considerados como indicadores de buena salud o de la falta de estrés en la vegetación (Johnstone *et al.*, 2013; Callow *et al.*, 2018; Uhrin y Supuka, 2016).

Tomando en cuenta el rango de valores de fluorescencia de la clorofila antes mencionado como indicador de buena salud, se puede observar que los datos obtenidos a lo largo de este ensayo (Cuadro 1.2) para árboles de jacaranda plantados en un espacio urbano con enmiendas de glucosa y sacarosa se encuentran por debajo de lo que se indica como óptimo, esto puede deberse a que están presentando estrés fisiológico debido posiblemente al proceso de adaptación al sitio de plantación (Mohedano-Caballero *et al.*, 2005).

Cuadro 1.2. Fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) promedio (\pm desviación estándar) de árboles de jacaranda con enmiendas de carbohidratos (glucosa y sacarosa) al suelo a lo largo del experimento.

Tratamiento	42 d	84 d	133 d	421 d
G0S0	0.728 \pm 0.055	0.694 \pm 0.049	0.724 \pm 0.016	0.724 \pm 0.024
G0S6	0.712 \pm 0.028	0.724 \pm 0.028	0.696 \pm 0.032	0.729 \pm 0.004
G0S8	0.774 \pm 0.041	0.664 \pm 0.051	0.747 \pm 0.034	0.738 \pm 0.037
G6S0	0.738 \pm 0.038	0.683 \pm 0.042	0.730 \pm 0.011	0.710 \pm 0.006
G6S6	0.776 \pm 0.029	0.703 \pm 0.030	0.721 \pm 0.021	0.725 \pm 0.031
G6S8	0.747 \pm 0.028	0.720 \pm 0.127	0.740 \pm 0.028	0.728 \pm 0.023
G8S0	0.760 \pm 0.018	0.719 \pm 0.009	0.732 \pm 0.014	0.727 \pm 0.016
G8S6	0.776 \pm 0.025	0.675 \pm 0.107	0.749 \pm 0.021	0.722 \pm 0.032
G8S8	0.750 \pm 0.034	0.738 \pm 0.015	0.723 \pm 0.010	0.729 \pm 0.021

Contenido de almidón en raíces

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) en el contenido de almidón en raíces de árboles de jacaranda tratados con enmiendas de carbohidratos (Figura 1.2) al final del período de evaluación (406 d). Los valores más altos corresponden a los tratamientos de 80 g L⁻¹ de glucosa y 80 g L⁻¹ de sacarosa (G8S8) y 60 g L⁻¹ de glucosa con 80 g L⁻¹ de sacarosa (G6S8) con 54.8 y 48.0 mg g⁻¹ ps⁻¹ respectivamente. Esto concuerda con estudios previos donde la sacarosa estimula el crecimiento del sistema de raíces (Percival *et al.*, 2004; Percival y Fraser, 2005; Martínez-Trinidad *et al.*, 2010), posiblemente debido a la acumulación de carbohidratos. La supervivencia de las plantas posterior a su plantación conlleva a tolerar una amplia gama de tensiones y perturbaciones (estrés) propias de ambientes urbanos, esto generalmente incluye sequías, inundaciones, bajas temperaturas y contaminación (Dietze *et al.*, 2014). Las

condiciones ambientales urbanas juegan un papel importante en la variabilidad de la concentración de carbohidratos en los tejidos de la planta (Maselli y Silveira, 2017), esto se debe a que se invierten grandes cantidades de carbohidratos en la generación de nuevos tejidos y defensa. La raíz es un órgano importante de almacenamiento de carbohidratos (Sala y Mencuccini, 2014); carbohidratos como azúcares solubles y almidón, proveen una reserva para situaciones de carencia o afrontar condiciones ambientales estresantes. Por ejemplo, en situaciones de estrés hídrico, condición que se presenta comúnmente en ambientes urbanos, en la cual se produce un cierre de los estomas lo que detiene el proceso fotosintético, es decir, reduce la captación de carbono fotosintético (McDowell *et al.*, 2011) y por tanto la producción de carbohidratos, aquí es donde intervienen las reservas que el árbol tenga acumuladas.

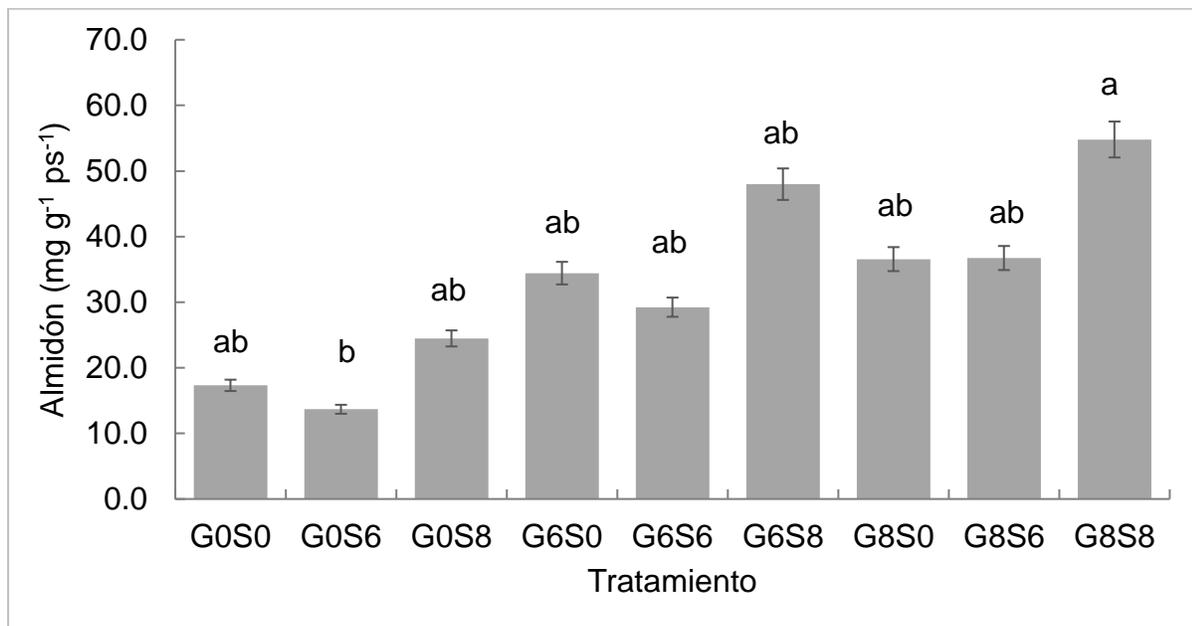


Figura 1.2. Contenido de almidón en raíces de árboles de jacaranda al final del período de evaluación con enmiendas de carbohidratos (glucosa y sacarosa) al suelo. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey.

Especies de encino blanco (*Quercus petraea*), acer plateado (*Acer saccharinum*) y acer real (*Acer platanoides*) tras un evento de poda (estrés) o defoliación tienden a movilizar sus reservas de carbohidratos provenientes de la raíz y del tronco para la producción de nuevos brotes y superar el evento estresante (Valenzuela *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2018). Por esto, la cantidad de carbohidratos almacenadas en este órgano es crucial en funciones vitales, un buen desarrollo del arbolado y afrontar situaciones de estrés en especies caducifolias (Lloret *et al.*, 2018).

Respiración del suelo y carbono total

La respiración neta del suelo por el contrario mostró diferencias significativas ($P \leq 0.001$). Esta varió de 2.15 mg C-CO₂ m⁻² suelo seco h⁻¹ para el tratamiento que contenía solo agua (G0S0) a 5.08 mg C-CO₂ m⁻² suelo seco h⁻¹ para el tratamiento más alto en concentración de carbohidratos (G8S8). Las poblaciones microbianas del suelo suelen ser bastante sensibles a cambios en las condiciones generales del suelo, por lo que suministran de manera anticipada y confiable información sobre las alteraciones de este (Paolini, 2017). Un aumento en la producción de CO₂ en el suelo puede indicar de manera indirecta que la actividad de los microorganismos en la oxidación de la materia orgánica del suelo está presente, dado el crecimiento de sus poblaciones (Schloter *et al.*, 2018); esto es debido a que parte de los carbohidratos dispuestos en el suelo sirven como carbono fácilmente asimilable y reserva energética (Ziter *et al.*, 2013).

El suelo como sistema físico, presenta características como la textura, estructura, porosidad, densidad aparente capacidad de retención de agua, que controlan los procesos biológico (microorganismos), lo que interviene en la acumulación y pérdida de carbono del suelo a través de la degradación de la materia orgánica (Scharenbroch *et al.*,

2013; Gómez y Doane, 2018). Por esto, la mineralización y estabilización del carbono del suelo depende de la actividad microbiana, sin embargo, suelos con mayores reservorios de carbono, tienden a respirar más CO₂ (Gómez y Doane, 2018).

La actividad microbiana en suelo (respiración del suelo como CO₂) con enmiendas de carbohidratos al suelo de encino siempreverde (*Quercus virginiana*), presentaron un incremento en la actividad, sin embargo, este fue a corto plazo, ya que solo duró mientras los carbohidratos fueron metabolizados por los microorganismos del suelo (Martínez-Trinidad *et al.*, 2010). Es importante mencionar que, aunque la masa neta de CO₂ fue diferente entre tratamientos, proporcionalmente la estimulación en respiración es baja si se toma en cuenta el carbono total del suelo. En este caso se observó una respiración menor al 1% y sin diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 1.3).

Cuadro 1.3. Respiración del suelo y carbono total.

Tratamiento	R-CO ₂	EE	% CT	EE
G0S0	4.895 d [†]	±0.61	0.563 a	±0.12
G0S6	5.005 cd	±0.36	0.605 a	±0.04
G0S8	7.095 bcd	±0.96	0.509 a	±0.20
G6S0	5.335 bcd	±0.66	0.628 a	±0.17
G6S6	5.775 abc	±1.09	0.551 a	±0.24
G6S8	8.360 ab	±0.94	0.909 a	±0.31
G8S0	5.555 bc	±0.28	0.432 a	±0.15
G8S6	7.645 abc	±0.67	0.759 a	±0.28
G8S8	8.140 a	±0.89	0.914 a	±0.25

R-CO₂= respiración neta del suelo; %CT= porcentaje carbono total del suelo; EE= error estándar. [†]Letras iguales significan medias estadísticamente iguales (P≤0.05) usando DSH de Tukey.

La actividad de la microbiota es influenciada por la cantidad de carbono y el manejo de los suelo (Martínez-Trinidad *et al.*, 2010; Paolini, 2017), las plantas proveen de carbono a los microorganismos a través de exudados de la raíz, sin embargo, una aplicación exógena de estos provee una reserva energética que se traduce en un aumento de las poblaciones microbianas (Martínez-Trinidad *et al.*, 2010).

Por otro lado, cabe mencionar que, durante todo el ensayo, la humedad del suelo se mantuvo constante debido principalmente a que se contó con riego programado. Los valores oscilaron entre 31 % a 46.9 % de contenido volumétrico de agua, encontrando los valores más altos en la temporada de lluvias sin llegar a ser estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) con los días fuera de la temporada de lluvias (temporada de secas).

1.6 CONCLUSIONES

Las enmiendas de carbohidratos al suelo estimulan el desarrollo de raíces finas de árboles plantados en espacios urbanos, sin embargo, las características de la parte aérea como color del follaje o crecimiento en altura y diámetro de los árboles no fueron alteradas debido posiblemente el corto tiempo de evaluación.

El estudio de aspectos relacionados con el desarrollo de la parte aérea de los árboles con enmiendas de glucosa y sacarosa para modificar de manera inicial las condiciones del sistema de raíces para un mejor desarrollo de estas, implica un tiempo de evaluación mayor al llevado en este ensayo para así lograr medir el efecto de un adecuado desarrollo del sistema de raíces provocado por los tratamientos de carbohidratos aplicados.

Los resultados indican que las enmiendas con carbohidratos como glucosa y sacarosa tiene un efecto positivo indirecto en la respiración del suelo y por tanto en las raíces, muy posiblemente debido a un incremento de la actividad de los microorganismos, los cuales son fundamentales para mejorar las características del suelo.

1.7 LITERATURA CITADA

- Abramoff, M.D., P.J. Magalhaes, S.J. Ram. 2004. Image Processing with ImageJ. *Biophotonics International*. 11:36-42.
- Abreu-Harbich, L.V., L.C. Labaki, A. Matzarakis. 2015. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*. 138:99-109.
- Al-Habsi, S., G.C. Percival. 2006. Sucrose-induced tolerance to and recovery from deicing salt damage in containerized *Ilex aquifolium* L. and *Quercus robur* L. *Arboriculture & Urban Forestry*. 32(6):277-285.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In A.L. page, R. H. Miller, and D.R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*. ASA and SSSA, Madison, Wi.
- Bach, E.M., R.J. Williams, S.K. Hargreaves, F. Yang, K.S. Hofmockel. 2018. Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats. *Soil Biology and Biochemistry*. 118:217-226.
- Callow, D., P. May, D.M. Johnstone. 2018. Tree vitality assessment in urban landscapes. *Forests*. 9(5):1-7.
- Civeira, G., R.S. Lavado. 2006. Efecto del aporte de enmiendas orgánicas sobre propiedades físicas e hidrológicas de un suelo urbano degradado. *Ciencia del suelo Argentina*. 24(2):123-130.

- Day, S.D., P.E. Wiseman, S.B. Dickinson, J.R. Harris. 2010. Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere. *Arboriculture & Urban Forestry*. 36(5):193-205.
- Dietze, M.C., A. Sala, M.S. Carbone, C.I. Czimczik, J.A. Mantooth, A.D. Richardson, R. Vargas. 2013. Nonstructural carbon in woody plants. *Annual Review in Plant Biology*. 65:13-22.
- Gómez-Guerrero, A., T. Doane. 2018. The response of forest ecosystems to climate change. In book *Climate change impacts on soil processes and ecosystem properties*. 185-206.
- Guilland, C., P.A. Maron, O. Damas, L. Ranjard. 2018. Biodiversity of urban soils for sustainable cities. *Environmental Chemistry Letters*. 16(4):1267-1282.
- Gutiérrez, C.M., C.A. Ortiz S. 1999. Origen y evolución de los suelos en el ex lago de Texcoco, México. *Agrociencia*. 33(2):200-208.
- IUSS Grupo de trabajo WRB. 2007. Base referencial Mundial del recurso suelo. Primera actualización 2007. *Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103*. FAO, Roma, Italia.
- Johnstone, D., G. Moore, M. Tausz, M. Nicolas. 2013. The measurement of plant vitality in landscape trees. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*. 35(1):18-27.

- Koeser, A.K., E.F. Gilman, M. Paz, C. Harchick. 2014. Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13:655-661.
- Lloret, F., G. Sapes, T. Rosas, L. Galiano, S. Saura-Mas, A. Sala, J. Martínez-Vilalta. 2018. Non-structural carbohydrate dynamics associated with drought-induced die-off in woody species of a shrubland community. *Annals of Botany*.00:1-14.
- Martínez-Trinidad, T., W.T. Watson, M.A. Arnold, L. Lombardini, D.N. Appel. 2009. Carbohydrate injections as a potential option to improve growth and vitality of live Oaks. *Arboriculture & Urban Forestry*. 35(3):142-147.
- Martínez-Trinidad, T., W.T. Watson, M.A. Arnold, L. Lombardini. 2010. Microbial activity of a clay soil amended with glucose and starch under live Oaks. *Arboriculture & Urban Forestry*. 36(2):66-72.
- Maselli, L.G., M.B. Silveira. 2017. Dendrobiochemistry, a missing link to further understand carbon allocation during growth and decline of trees. *Trees*. 31(6):1745-1758.
- McDowell, N.G., D.J. Beerling, D.D. Breshears, R.A. Fisher, K.F. Raffa, M. Stitt. 2011. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in Ecology and Evolution*. 26(10):523-532.
- Mohedano-Caballero, L., V.M. Cetina-Alcalá, A. Chacalo-Hilu, A. Trinidad-Santos, F. González-Cossio. 2005. Crecimiento y estrés post-trasplante de árboles de pino en suelo salino urbano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11:43-50.

- Ow, L.F., M.L. Yusof. 2018. Stability of four urban trees species in engineered and regular urban soli blends. *Journal of Urban Ecology*. 4:1-6.
- Palevitz, B.A., E.H. Newcomb. 1970. A study of sieve element starch using sequential enzymatic digestion and electron microscopy. *The Journal of Cell Biology*. 45:383-398.
- Paolini, G.J.E. 2017. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana* 36:13-22.
- Percival, G.C., G.A. Fraser, S. Barnes. 2004. Soil injections of carbohydrates improve fine root growth of established urban trees. *Arboricultural Journal*. 28:95-101.
- Percival, G.C., G.A. Fraser. 2005. Use of sugars to improve root growth and increase transplant success of birch (*Betula pendula* Roth.). *Journal of Arboriculture*. 31(2):66-77.
- Pereira, P., A.J.D. Ferreira, S. Pariente, A. Cerda, R. Walsh, S. Keesstra. 2016. Urban soils and sediments. *Journal of Soils and Sediments*. 16:2493-2499.
- Pincetl, S., T. Gillespie, D.E. Pataki, S. Saatchi, J.D. Saphores. 2012. Urban tree planting programs, function of fashion? Los Angeles and urban tree planting campaigns. *GeoJournal*. 78(3):475-493.
- Quentin, A.G., E.A. Pinkard, M.G. Ryan, D.T. Tissue, L.S. Baggett, H.D. Adams, P. Maillard, J. Marchand, S.M. Landhausser, A. Lacoite, Y. Gibon, W.R.L. Anderegg, S. Asao, O.K. Atkin, M. Bonhomme, C. Claye, P.S. Chow, A. Clement-Vidal, N.W. Davies, L.T. Dickman, R. Dumbur, D.S. Ellsworth, K. Falk, L. Galiano, J.M. Grunzweig, H. Hartmann, G. Hoch, S. Hood, J.E. Jones, T. Koike, I. Kuhlmann, F. Lloret, M. Maestro,

S.D. Mansfield, J. Martínez-Vilalta, M. Maucourt, N.G. McDowell, A. Moing, B. Muller, S.G. Nebauer, U. Niinemets, S. Palacio, F. Piper, E. Raveh, A. Richter, G. Rolland, T. Rosas, B.S. Joanis, A. Sala, R.A. Smith, F. Sterck, J.R. Stinziano, M. Tobias, F. Unda, M. Watanabe, D.A. Way, L.K. Weerasinghe, B. Wild, E. Wiley, D.R. Woodruff. 2015. Non-structural carbohydrates in woody plants compared among laboratories. *Tree Physiology*. 35:1146-1165.

Ramírez, J.A., I.T. Handa, J.M. Posada, S. Delagrange, C. Messier. 2018. Carbohydrate dynamics in roots, stems, and branches after maintenance pruning in two common urban trees species of North America. *Urban Forestry & Urban Greening*. 30:24-31.

Sala, A., M. Mencuccini. 2014. Plump trees win under drought. *Nature Climate Change*. 4:666-667.

SAS 9.4 Institute Inc. 2013. *SAS/STAT User's guide*. Cary, NC: USA. SAS Institute Inc. 2018.

Scharenbroch, B.C., E.N. Meza, M. Catania, K. Fite. 2013. Biochar and biosolids increase tree growth and improve soil quality for urban landscapes. *Journal of Environmental Quality*. 42(5):1372-1385.

Schlöter, M., P. Nannipieri, S.J. Sorensen, J.D. Van Elsas. 2018. Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*. 54:1-10.

Schneider, C.A, W.S. Rasband, K.W. Eliceiri. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*. 9(7):671-675.

- Uhrin, P., J. Supuka. 2016. Quality assessment of urban trees using growth visual and chlorophyll fluorescence indicators. *Ekológia (Bratislava)*. 35(2):160-172.
- Valenzuela, N.L.M., P. Maillard, J.L. González B., G. González C. 2013. Balance de carbohidratos en diferentes compartimentos vegetales de encino (*Quercus pétreea*) y haya (*Fagus sylvatica*), sometidos a defoliación y sombra. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 8:33-38.
- Walkley, A., I. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.
- Wiley, E., B.B. Casper, B.R. Helliker. 2016. Recovery following defoliation involves shifts in allocation that favor storage and reproduction over radial growth in black oak. *Journal of Ecology*. 105(2):412-424
- Witham, F.H., D.F. Blaydes, R.M. Devlin. 1971. *Experiments in plant physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.
- Zhang, C.J., S.H. Lim, J.W. Kim, G. Nah, A. Fischer, D.S. Kim. 2016. Leaf chlorophyll fluorescence discriminates herbicide resistance in *Echinochloa* species. *Weed Research*. 56(6):424-433.
- Ziter, C., A.S. MacDougall. 2013. Nutrients and defoliation increase soil carbon inputs in grassland. *Ecology*. 94(1):106-116.

CAPÍTULO II. INYECCIONES CON GLUCOSA EN *Jacaranda mimosifolia* D. Don PARA MEJORAR CRECIMIENTO Y VITALIDAD

2.1 RESUMEN

Jacaranda mimosifolia D. Don es una especie arbórea común en áreas urbanas del valle de México desarrollándose frecuentemente bajo condiciones de estrés nutricional o hídrico, lo que restringe el crecimiento del arbolado. El suministro de carbohidratos a través del sistema vascular recientemente se ha recomendado como una opción para mejorar el crecimiento y vitalidad. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la inyección al tronco con glucosa en cuatro concentraciones: 0 (testigo), 30, 55 y 80 g L⁻¹ sobre crecimiento y vitalidad de árboles de jacaranda. Se estimaron incrementos en diámetro (cm) y altura (m), se monitoreo la condición de copa y follaje, además se evaluó el contenido de carbohidratos en brotes, troncos y raíces, así como la fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm). Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el incremento en diámetro y altura con la aplicación de 80 g L⁻¹ de glucosa. La condición de copa mostró valores significativamente más altos en densidad y bajos en transparencia, así como adecuados niveles de follaje, con la concentración más alta de glucosa (80 g L⁻¹). El contenido de carbohidratos presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en tronco, no así en brotes, raíces, ni en valores de fluorescencia de la clorofila. Las inyecciones de glucosa al tronco tienen un efecto significativo favorable en el crecimiento de árboles de Jacaranda.

Palabras clave: Árboles urbanos, azúcares solubles, estrés, carbohidratos, follaje

2.2 ABSTRACT

Jacaranda mimosifolia D. Don is a common tree species in urban areas of the Mexico's valley, which often grows under nutritional and water stress condition, restricting the tree growth of this species. The supply of carbohydrates through the vascular system has recently been recommended as an option to improve the growth and vitality. Therefore, the objective of this work is to evaluate the effect of injections to the trunk of glucose at on the growth and vitality of jacaranda tree with for concentrations: 0 (control), 30, 55 and 80 g L⁻¹. Diameter (cm) and height (m) increments were determined, the crown condition and foliage were monitored and, the content of carbohydrate in shoots, trunks and roots as well as the chlorophyll fluorescence (Fv/Fm). Significant differences were found (P≤0.05) in the increase in diameter and height with the application of 80 g L⁻¹ of glucose. The crown condition showed significantly higher values in density and lower in transparency, as well as an adequate level of foliage, with the highest concentration (80 g L⁻¹). Carbohydrate content showed significant differences (P≤0.05) in trunk, not in buds, roots, or chlorophyll fluorescence. The injections of glucose to the trunk have a significant and favorable effect on the growth of jacaranda trees.

Keywords: Urban trees, soluble sugars, stress, carbohydrates, foliage

2.3 INTRODUCCIÓN

El arbolado urbano en condiciones saludables óptimas aporta servicios ecosistémicos tales como sombra, recreación, almacén de carbono, filtra contaminantes del aire e impacta de manera positiva en el bienestar humano (Moser *et al.*, 2018; Scholz *et al.*, 2018). Desafortunadamente en muchas ocasiones, el entorno urbano no es favorable para el crecimiento del arbolado debido a que presenta condiciones restrictivas que limitan el desarrollo del arbolado (Martínez-Trinidad *et al.*, 2010; Moser *et al.*, 2017). En este sentido, el arbolado urbano se ve afectado por limitaciones de espacio, deficiencias nutrimentales, compactación del suelo, falta de agua, temperaturas extremas, contaminación y vandalismo (Stojnic *et al.*, 2016; Allen *et al.*, 2017). De tal manera que las condiciones precarias del ambiente urbano estresan al árbol y dan como resultado un crecimiento pobre, reducción en la vitalidad y consecuentemente altas tasas de mortandad (Koeser *et al.*, 2014).

La síntesis de carbohidratos a partir del proceso de fotosíntesis es fundamental para el árbol, ya que estos mantienen el metabolismo, acumula reservas y promueve crecimiento de nuevos tejidos (Maselli y Silveira, 2017). La producción de azúcares depende de la disponibilidad de minerales en el suelo y factores ambientales (Gamboa y Marín, 2012; Valenzuela *et al.*, 2013). Además, las condiciones de estrés ambiental derivado del entorno urbano provocan una reducción de las reservas del árbol; lo que repercute negativamente en el crecimiento y vitalidad del arbolado (Martínez-Trinidad *et al.*, 2010; Koeser *et al.*, 2014; Moser *et al.*, 2018). La vitalidad o habilidad del arbolado para tolerar el estrés, está relacionada directamente con la cantidad de reservas; árboles

con mayor vitalidad son capaces de resistir factores estresantes (Johnstone *et al.*, 2013; Callow *et al.*, 2018; Ramírez *et al.*, 2018).

El suministro exógeno de carbohidratos al sistema vascular de los árboles tiene un efecto positivo sobre el crecimiento y vitalidad, debido al incremento de las reservas (Percival *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009; Martínez-Trinidad *et al.*, 2013). Si bien, las inyecciones al tronco surgieron para el tratamiento químico de enfermedades, hongos y plagas (Costonis, 1981; Perry *et al.*, 1991; Dal Maso *et al.*, 2014; Acimovic *et al.*, 2015), recientemente se han utilizado como la opción más viable para administrar carbohidratos, con el fin de mejorar el crecimiento y la vitalidad del arbolado urbano (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009; Percival y Sacre, 2014; Suryanto *et al.*, 2018). La ventaja de la inyección al tronco radica en que el compuesto aplicado es aprovechado en su totalidad al ser canalizado directamente en el sistema vascular (Costonis, 1981; Wise *et al.*, 2014; Acimovic *et al.*, 2016) y este lo distribuye por todo el árbol (Kobza *et al.*, 2011).

El árbol de jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), es una especie arbórea perteneciente a la familia Bignonaceae (Sharma *et al.*, 2016), su uso ornamental en espacios urbanos se ha incrementado en las últimas décadas (Miyajima *et al.*, 2013; Zaouchi *et al.*, 2015) debido a que es una especie de porte medio y a que presenta una abundante y colorida floración, es importante mejorar la condición de vitalidad de las jacarandas que crecen en ambientes que no siempre son los más favorables. Por tanto, este trabajo evalúa el efecto de la inyección de glucosa al tronco sobre el crecimiento y vitalidad de árboles de jacaranda establecidos en áreas urbanas como alternativa de cuidado de árboles urbanos.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y establecimiento de ensayo

El ensayo se llevó en arbolado que se encuentra creciendo en el Boulevard “Texcoco-Chapingo” (19°30'04.19"N y 98°53'00.85"O) de la ciudad de Texcoco de Mora. La zona tiene una altitud promedio de 2240 m, un clima templado semi-seco, una temperatura media anual de 15.9°C y una precipitación aproximada de 600 mm al año, los suelos son clasificados como vertisoles (Gutiérrez y Ortiz, 1999). Se seleccionaron 36 árboles de jacaranda con un diámetro normal de 27 cm y una altura de 7 m en promedio, los cuales se encuentran alineados con una separación de 6 m.

La aplicación de glucosa se realizó a través de macro inyecciones en el tronco de cada árbol (Costonis, 1981). Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones de glucosa: 0 (testigo), 30, 55 y 80 g L⁻¹, el testigo solo contenía agua (purificada). Se realizaron perforaciones de 4.4 mm de diámetro en la base del árbol a una profundidad de 25.4 mm aproximadamente (Acimovic *et al.*, 2016) de manera perpendicular al tronco; se utilizó un taladro inalámbrico de 550 rpm (DeWalt Industrial Tool Co., Baltimore, MD), y una bomba manual (H.D. Hudson Industro®, Butler, NJ) a una presión constante de 0.13 MPa, para aplicar en una única ocasión un total de 10 L de solución por árbol en julio de 2017. La distribución de los tratamientos se realizó de manera aleatoria con nueve repeticiones por cada tratamiento. (Percival *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009).

Parámetros de la planta

Para evaluar el crecimiento de los árboles, se midió al inicio y al final del experimento el diámetro del tronco (cm) con una cinta diamétrica (Forestry suppliers Inc. Jackson,

MS), sobre una marca indeleble hecha a 10 cm sobre el suelo en el tronco y la altura total de cada árbol (m) con un clinómetro (Brunton®). A partir de las variables anteriores, se estimó el incremento en diámetro (ID) y en altura (IA). Para determinar vitalidad, se registró información de la condición de copa de cada árbol a través de las variables: densidad de copa (Dnc) y transparencia de copa (Trc) (Saavedra-Romero *et al.*, 2016); esto se llevó a cabo de forma visual por un equipo de dos personas ubicadas a una distancia horizontal proporcional a la altura de cada árbol, se evaluó en una escala dividida en categorías de 5% (Westfall *et al.*, 2009). Se evaluó el follaje de cada árbol ajustando el método de 6 clases de Hawksworth (Hawksworth, 1977). Este método divide en tres tercios la copa de cada árbol, cada tercio se evaluó por separado asignando una calificación de 0, 1 o 2, para cada variable, donde: 0 es producción no visible o baja, 1 es producción adecuada y 2 es nivel alto de follaje.

Se determinó el contenido de carbohidratos, azúcares totales y azúcares reductores en tejidos del árbol. Se colectaron al azar muestras de brotes de 5 ramas de la copa baja de cada árbol; además, con un martillo de incrementos (Haglof company group®, Langsele, Sweden) se tomaron cinco muestras cerca de la base del tronco (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009); las muestras se maceraron en nitrógeno líquido y almacenaron a -20°C hasta su procesamiento en laboratorio. Se realizaron dos extracciones alcohólicas de azúcares de los tejidos colectados, cada una con 40 mL de etanol al 80% (v/v) por 20 min a 100°C (Quentin *et al.*, 2015). El resultante de la extracción se diluyó en 10 mL de agua destilada para la determinación cuantitativa; las muestras se trabajaron por triplicado.

La concentración de azúcares totales se determinó por el método de antrona (Witham *et al.*, 1971), se utilizó un espectrofotómetro (GENESYS®10S Vis & UV-Vis) para leer la absorbancia a 600 nm, se cuantificó los azúcares totales con una curva patrón de glucosa en una concentración de 20 a 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Anexo 1). Para la cuantificación de azúcares reductores, se utilizó el método de Nelson (1944) y Somogyi (1952), la absorbancia se registró en el espectrofotómetro a 540 nm y se utilizó una curva patrón que contenía glucosa de 15 a 150 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Anexo 2). Los resultados se expresaron en miligramos de glucosa por gramo de peso seco ($\text{mg g}^{-1} \text{ps}^{-1}$). De manera análoga, se determinó el contenido de almidón en raíces, para esto, se colectaron aproximadamente 5 g de tejido por debajo de la base del tronco, y se evaluó a través de hidrolizar el precipitado del proceso de extracción alcohólica descrito arriba, con la enzima diastasa (SIGMA) (Palevitz *et al.*, 1970). Al hidrolizado resultante se le aplicó el método de antrona para determinar el contenido de almidón con base en el contenido de glucosa presente en la muestra, el resultado se expresó en $\text{mg g}^{-1} \text{ps}^{-1}$. Finalmente, se registró la fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) con un fluorímetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments Ltd., King's Lynn, UK), usando un tiempo de detección de 1 s, emitiendo luz a una longitud de onda de 650 nm con una intensidad de $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Zhang *et al.*, 2016). Las mediciones se realizaron a través de adaptar por 10 minutos a la obscuridad con clips un total de 10 hojas elegidas al azar de la copa baja de cada árbol (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, en los datos se comprobaron los supuestos de normalidad con Shapiro-Wilk ($n \leq 50$ y $\alpha = 0.05$) y la homogeneidad de

varianzas (test de Bartlett). Se realizó un análisis multivariado (MANOVA) en aquellas variables que cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad ($P \leq 0.05$), se procedió con las comparaciones de medias con la prueba DSH (diferencia significativa honesta de Tukey) y una $\alpha = 0.05$. En aquellas variables que no cumplieron los supuestos ($P > 0.05$), se utilizó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis y se comparó las medias con la suma de rangos de Wilcoxon. Se analizó estadísticamente con el programa RStudio Team® (R Core Team, 2015).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incremento en diámetro

El incremento en diámetro de árboles de jacaranda presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) donde la aplicación de la concentración más alta de glucosa (80 g L^{-1}) mostró valores promedio de crecimiento dos veces superiores que los mostrados por árboles testigo (Figura 2.1). Aunque la aplicación de dosis de carbohidratos inferiores a 80 g L^{-1} de glucosa no tuvo efecto sobre el crecimiento en diámetro es probable que se haya debido a que esta especie demanda cantidades altas de carbohidratos (Piper y Fajardo, 2016).

Por tanto, concentraciones bajas de glucosa son insuficientes para promover crecimiento y probablemente su efecto se diluye al ser movilizadas para cubrir los requerimientos energéticos de otros procesos fisiológicos como la fotosíntesis, respiración, transpiración, absorción y translocación (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2018).

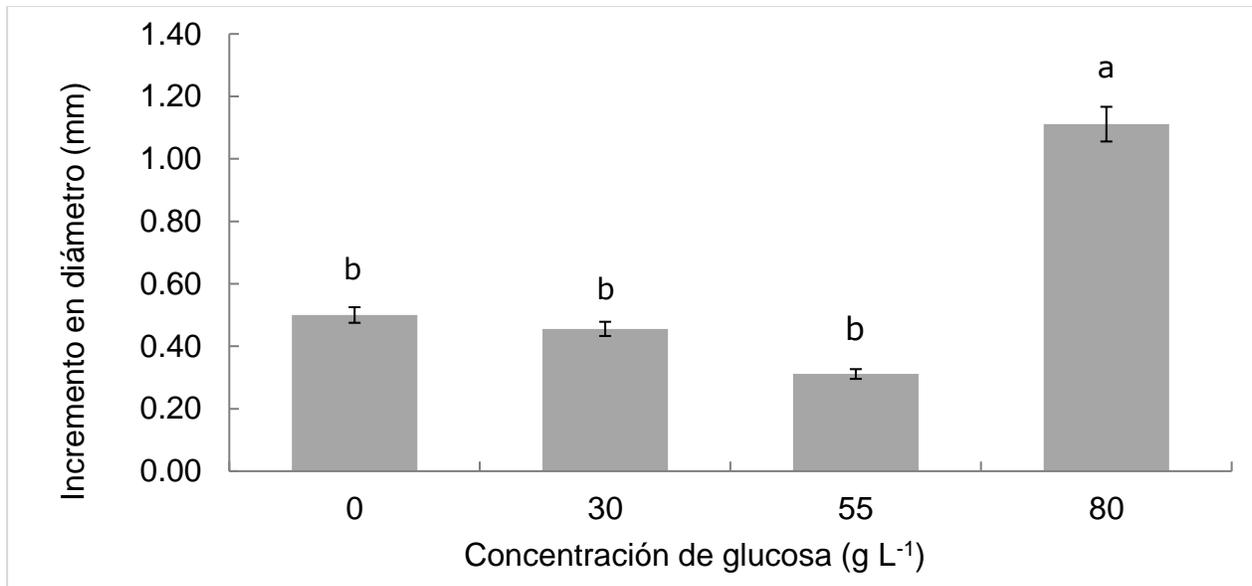


Figura 2.1. Incremento promedio en diámetro (mm) de árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey.

En algunos casos los azúcares son destinados para el almacenamiento de reservas, todo esto a expensas del crecimiento vegetativo (Piper y Fajardo, 2016). Estudios previos han demostrado que el uso de carbohidratos tiene efectos positivos sobre el crecimiento en diámetro de árboles como encino (*Quercus virginiana* P. Miller), álamo (*Populus nigra* "Itálica" (Moench) Koehne), roble inglés (*Quercus robur* L.) y haya europea (*Fagus sylvatica* L.) (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009; Percival y Sacre, 2014), también se ha observado un efecto positivo en el diámetro de ramas de roble de Ceilán (*Schleicera oleosa* Merr) (Suryanto *et al.*, 2018).

Condición de copa

Los valores promedio de la densidad de copa (Dnc) fueron significativamente diferentes entre concentraciones de glucosa ($P \leq 0.05$). El valor promedio más alto en Dnc la presentaron las concentraciones de 80 y 55 g L⁻¹ (75% y 76%, respectivamente),

mientras el valor promedio más bajo lo obtuvo la concentración de 0 g L^{-1} con 59% (Figura 2.2). Se observó que más del 50% de los árboles evaluados presentaron un 70% en densidad de copa, esto indica una buena cantidad de follaje (Saavedra-Romero *et al.*, 2016). Se sabe que densidades de copa por arriba del 75% son inusuales para la mayoría de las especies arbóreas urbanas a menos que crezcan en espacios abiertos (Westfall *et al.*, 2009). Altos valores de Dnc representan un alto potencial de crecimiento, y por tanto de supervivencia en comparación con aquellos árboles con menor cantidad de follaje (Zaragoza-Hernández *et al.*, 2014; Maselli y Silveira, 2017). Se consideran árboles saludables aquellos con una densidad de copa mayor al 50% (Westfall *et al.*, 2009; Saavedra-Romero *et al.*, 2016), mientras que árboles con densidades menores a 30% tienen altas probabilidades de morir en el lapso de un año (Steinman, 2000). Los árboles evaluados de jacaranda presentan una mejor densidad de copa que otras especies ubicadas en espacios urbanos como el Bosque de San Juan de Aragón, Alameda Norte, Sur y Oriente en la ciudad de México las cuales reportan promedios inferiores al 70% (Zaragoza-Hernández *et al.*, 2014; Saavedra-Romero *et al.*, 2016).

En cuanto a la transparencia de copa (Trc), los valores promedio fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.05$). El valor más alto para la variable Trc lo tuvieron árboles tratados con la concentración más baja (0 g L^{-1}), con un valor de 28%, mientras que el valor Trc más bajo en árboles corresponde a aquellos inyectados con la concentración de 80 g L^{-1} de glucosa con un valor promedio de 19% (Figura 2.2). También se observó que al menos el 50% de los árboles evaluados presentaron un promedio de 25% de Trc, esto indica que la cantidad de follaje en los árboles es suficiente para llevar a cabo procesos fundamentales como la fotosíntesis y la respiración, sin embargo, la

copa de los árboles no es lo suficientemente densa como para bloquear completamente el paso de la luz (Zaragoza-Hernández *et al.*, 2014). Valores altos de Trc, se relaciona directamente con factores estresantes, principalmente el ataque de plagas, sequías, actividades de poda, contaminación atmosférica, compactación del suelo o vandalismo (Schomaker *et al.*, 2007; Zaragoza-Hernández *et al.*, 2014). Valores de Trc inferiores a 30 % en el arbolado indican una condición saludable (Saavedra-Romero *et al.*, 2016). En general, los valores de Trc para los árboles evaluados en el Boulevard “Texcoco-Chapingo” se encuentran por debajo del límite antes mencionado como para no ser considerados en un estado de degradación o estrés (Figura 2.2).

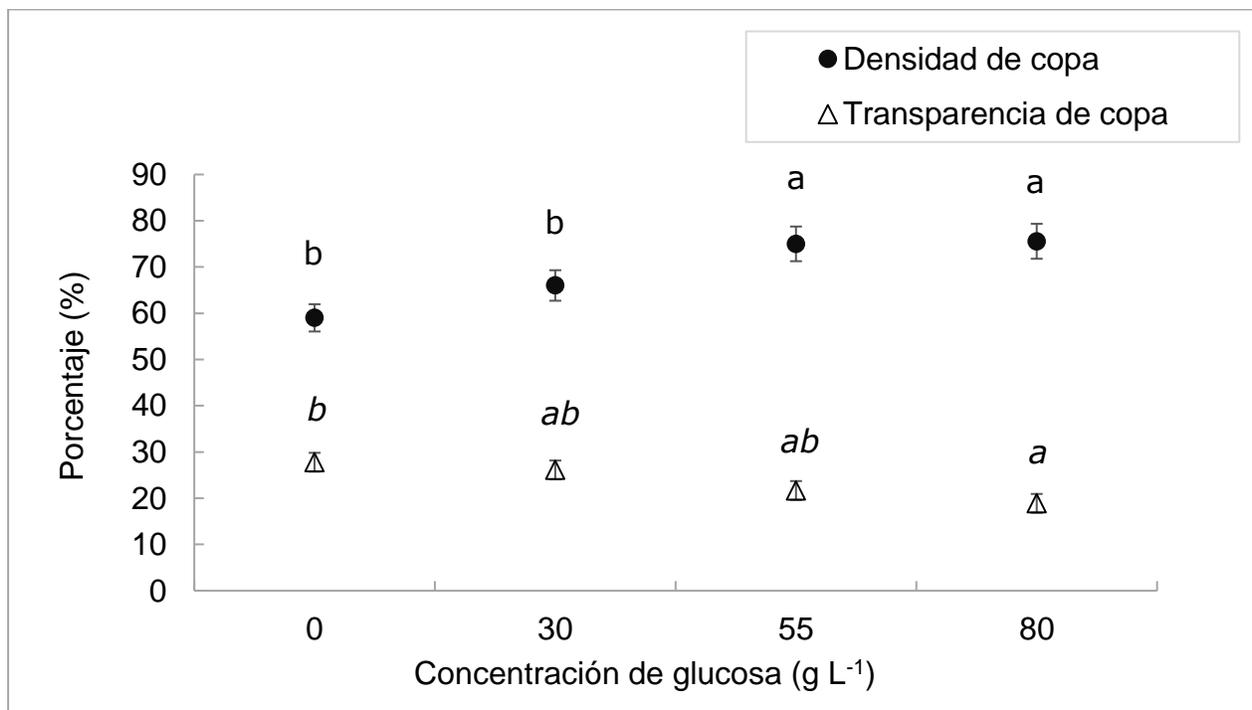


Figura 2.2. Densidad y transparencia de copa de árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando la suma de rangos de Wilcoxon.

En cuanto al nivel de follaje, esta variable se vio influenciada por la concentración más alta de glucosa ($P \leq 0.05$). A pesar de esto, el follaje en los árboles evaluados independientemente de la concentración de glucosa se ubicó entre las clases de Hawksworth 1 y 4 al final del período (Hawksworth, 1977), por tanto, se consideran valores adecuados. Los niveles de follaje se relacionan directamente con la variable Dnc descrita anteriormente, por lo que era de esperar que a mayor valor de Dnc, también se encontrara un mayor valor en follaje como lo muestran en este caso las clases de Hawksworth para la concentración de 80 g L^{-1} (Figura 2.3). Esta cantidad de follaje le permite al arbolado sobrevivir y realizar sus funciones de una manera adecuada (Zaragoza-Hernández *et al.*, 2014).

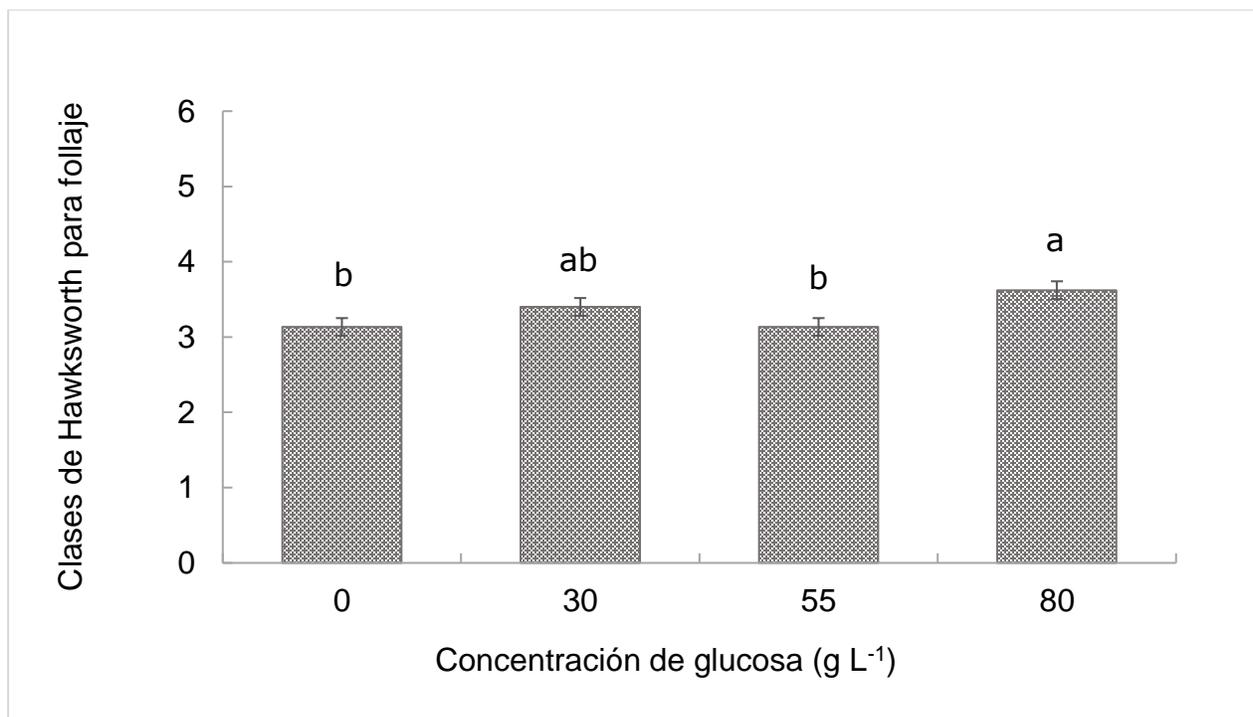


Figura 2.3. Evaluación de follaje con las clases de Hawksworth en árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey.

Azúcares totales y azúcares reductores

El análisis de carbohidratos mostró que tanto azúcares totales como reductores en brotes, tronco y el almidón en raíces registraron una variación anual, presentando valores máximos en el período de otoño y disminuyendo paulatinamente en invierno, para finalmente llegar a sus valores más bajos poco después del período de brotación de follaje (primavera). Esta fluctuación se debe a que los azúcares son utilizados en procesos como la respiración durante invierno y la producción de nuevos tejidos en primavera (Valenzuela *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2018). Se ha reportado esta variación anual en los niveles de carbohidratos en especies como: *Quercus virginiana* P. Miller, *Citrus sinensis* L., *Citrus reticulata* Blanco, y *Mangifera indica* L. (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009; Gamboa y Marín, 2012; Laskowski, 2014). Todas las variables presentaron variaciones relacionadas con las etapas fenológicas del árbol (Laskowski, 2014).

No se observaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) en azúcares totales y reductores en brotes, así como tampoco en almidón proveniente de las raíces de árboles de jacaranda. Los azúcares totales en el tronco presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) con la concentración de 80 g L^{-1} de glucosa, en tanto los azúcares reductores, no mostraron evidencia estadística que indicara una alteración de esta variable con la inyección de glucosa al tronco; se esperaba un incremento de azúcares reductores, esto como un indicador del aumento de la vitalidad (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009; Laskowski, 2014), sin embargo, no fue este el caso. La determinación de azúcares totales incluye azúcares reductores y fracciones de polisacáridos como el almidón, un importante carbohidrato de reserva en diferentes órganos del árbol (raíz, tallo y ramas) utilizado para situaciones de carencia energética (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013; Piper y Fajardo, 2016).

Por tanto, es posible estimar indirectamente la reserva de carbohidratos de los árboles con una simple diferencia entre los valores de estos azúcares. En este sentido se encontró evidencia estadística ($P < 0.05$) señalando que árboles inyectados con concentraciones altas de glucosa mantienen más del doble de la cantidad de reservas en el tronco que aquellos tratados con concentraciones bajas de glucosa (Figura 2.4). En otro estudio se encontró que árboles urbanos como Arce (*Acer platanoides*) presentan una reserva de carbohidratos mayor que árboles creciendo en condiciones naturales (Ramírez *et al.*, 2018), esta característica mejora su capacidad de afrontar períodos de desbalance en los niveles de carbohidratos relacionados con los factores abióticos.

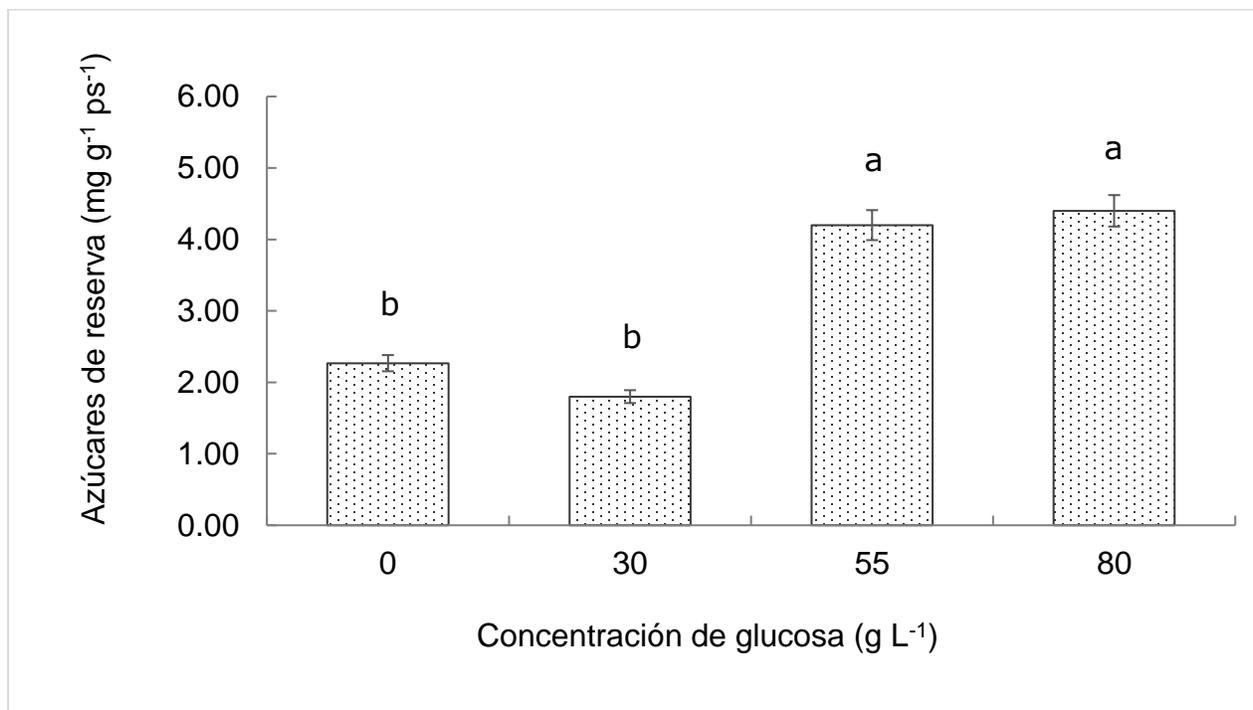


Figura 2.4. Azúcares de reserva en tronco de árboles de jacaranda inyectados con cuatro concentraciones de glucosa. Las barras indican el error estándar. Letras iguales significan medias estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) usando DSH de Tukey.

Fluorescencia de clorofila

La fluorescencia de la clorofila no mostró diferencias estadísticas en ninguna de las concentraciones aplicadas ($P > 0.05$). Esta variable se mantuvo constante a lo largo de la evaluación con valores F_v/F_m promedio de 0.787 para la concentración de 0 g L⁻¹, 0.810 para 30 g L⁻¹, 0.804 para 55 g L⁻¹, y 0.811 para 80 g L⁻¹ de glucosa. Los árboles con valores de F_v/F_m entre 0.78 y 0.85 se consideran saludables y libres de cualquier tipo de estrés (Johnstone *et al.*, 2013; Callow *et al.*, 2018; Uhrin y Supuka, 2016). Considerando esta variable, los árboles al parecer no presentaron indicios evidentes de estrés, manteniéndose en una condición de vitalidad constante durante todo el experimento. Esto es contrario a lo observado en *Quercus virginiana* P. Miller, *Acer pseudoplatanus* L. y *Schleicera oleosa* Merr, en donde la fluorescencia de la clorofila fue estimulada por la inyección de carbohidratos o alterada por factores abióticos propios de ambientes urbanos (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009; Uhrin y Supuka, 2016; Suryanto *et al.*, 2018).

2.6 CONCLUSIONES

La inyección de 80 g L⁻¹ de glucosa al tronco de árboles de jacaranda estimuló positivamente el crecimiento en diámetro y en altura. La condición de copa se mantuvo con una buena densidad y con adecuados niveles de follaje, indicando un buen estado de salud del arbolado; lo cual coincidió con una mayor cantidad de carbohidratos de reserva. No se encontró evidencia de una alteración de la condición de vitalidad con el uso de la fluorescencia de clorofila. Por tanto, la aplicación de glucosa al tronco es una estrategia viable para estimular el crecimiento vegetativo y en menor medida la vitalidad de los árboles de jacaranda en áreas urbanas.

2.7 LITERATURA CITADA

- Acimovic, S.G., B.M. Cregg, G.W. Sundin, J.C. Wise. 2016. Comparison of drill-and needle-based tree injection technologies in healing of trunk injection ports on apple trees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 19:151-157.
- Acimovic, S.G., G.C. McGhee, G.W. Sundin, J.C. Wise. 2015. Evaluation of trunk-injected bactericides and prohexadione-calcium of environmentally friendly control of fire blight (*Erwinia amylovora*) in apples. *Plant Protection Society of Serbia*. 1:129-134.
- Allen, K.S., R.W. Harper, A. Bayer, N.J. Brazee. 2017. A review of nursery production systems and their influence on urban tree survival. *Urban Forestry & Urban Greening*. 21:183-191.
- Callow, D., P. May, D.M. Johnstone. 2018. Tree vitality assessment in urban landscapes. *Forests*. 9(5):1-7.
- Costonis, A.C. 1981. Tree injection: Perspective macro-injection/micro-injection. *Journal of Arboriculture*. 7(10):275-278.
- Dal Maso, E., J. Cocking, L. Montecchio. 2014. Efficacy tests on commercial fungicides against ash dieback *in vitro* and by trunk injection. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13(4):697-703.
- Gamboa-Porras, J.R., W. Marín-Méndez. 2012. Fenología, producción y contenido de almidón en árboles de mango en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 23(1):81-91.

- Gutiérrez, C.M., C.A. Ortiz S. 1999. Origen y evolución de los suelos en el ex lago de Texcoco, México. *Agrociencia*. 33(2):200-208.
- Hawksworth, F.G. 1977. The 6-class dwarf mistletoe rating system. General Technical Report Rm-48. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station 7p.
- Johnstone, D., G. Moore, M. Tausz, M. Nicolas. 2013. The measurement of plant vitality in landscape trees. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*. 35(1):18-27.
- Kobza, M., G. Juhásová, K. Adamčíková, E. Onrusková. 2011. Tree injection in the management of Horse-Chestnut leaf miner. *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Gesunde Pflanzen*. 62:139-143.
- Koeser, A.K., E.F. Gilman, M. Paz, C. Harchick. 2014. Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13:655-661.
- Laskowski, L.E. 2014. Contenido de carbohidratos en hojas y raíces de plantas de naranja "Valencia" y mandarina "Dancy" durante un ciclo anual de crecimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*. 31:1-22.
- Martínez-Trinidad, T., F.O. Plascencia-Escalante, L. Islas-Rodríguez. 2013. La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(3):459-468.

- Martínez-Trinidad, T., W.T. Watson, M.A. Arnold, L. Lombardini, D.N. Appel. 2009. Carbohydrate injections as a potential option to improve growth and vitality of live Oaks. *Arboriculture & Urban Forestry*. 35(3):142-147.
- Martínez-Trinidad, T., W.T. Watson, M.A. Arnold, L. Lombardini. 2010. Microbial activity of a clay soil amended with glucose and starch under live Oaks. *Arboriculture & Urban Forestry*. 36(2):66-72.
- Maselli, L.G., M.B. Silveira. 2017. Dendrochemistry, a missing link to further understand carbon allocation during growth and decline of trees. *Trees*. 31(6):1745-1758.
- Miyajima, I., C. Takemura, N. Kobayashi, M.S. Soto, G. Facciuto. 2013. Flower bud initiation and Development of *Jacaranda mimosifolia* (Bignoniaceae) in Japan. *Acta Horticulturae*. 1000(7):71-76.
- Moser, A., E. Uhl, T. Rötzer, P. Biber, J. Dahlhausen, B. Lefer, H. Pretzsch. 2017. Effects of climate and the urban heat island. Effect on urban tree growth in Houston. *Open Journal of Forestry*. 7(4):428-445.
- Moser, A., E. Uhl, T. Rötzer, P. Biber, J.M. Caldentey, H. Pretzsch. 2018. Effects of climate trends and drought events on urban tree growth in Santiago de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*. 45(1):35-50.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry*. 153:375-380.

- Palevitz, B.A., E.H. Newcomb. 1970. A study of sieve element starch using sequential enzymatic digestion and electron microscopy. *The Journal of Cell Biology*. 45:383-398.
- Percival, G.C., G.A. Fraser, S. Barnes. 2004. Soil injections of carbohydrates improve fine root growth of established urban trees. *Arboricultural Journal*. 28:95-101.
- Percival, G.C., K. Sacre. 2014. The influence of soluble carbohydrates, slow-release nitrogen and a plant growth regulator on transplant survival of trees. *Arboricultural Journal*. 36(3):140-160.
- Perry, T.O., F.S. Santamour, R.J. Stipes, T. Shear, A.L. Shigo. 1991. Exploring alternatives to tree injection. *Journal of Arboricultural*. 17(8):217-226.
- Piper, F.I., A. Fajardo. 2016. Carbon dynamics of *Acer pseudoplatanus* seedlings under drought and complete darkness. *Tree Physiology*. 00:1-9.
- Quentin, A.G., E.A. Pinkard, M.G. Ryan, D.T. Tissue, L.S. Baggett, H.D. Adams, P. Maillard, J. Marchand, S.M. Landhausser, A. Lacoïnte, Y. Gibon, W.R.L. Anderegg, S. Asao, O.K. Atkin, M. Bonhomme, C. Claye, P.S. Chow, A. Clement-Vidal, N.W. Davies, L.T. Dickman, R. Dumbur, D.S. Ellsworth, K. Falk, L. Galiano, J.M. Grunzweig, H. Hartmann, G. Hoch, S. Hood, J.E. Jones, T. Koike, I. Kuhlmann, F. Lloret, M. Maestro, S.D. Mansfield, J. Martínez-Vilalta, M. Maucourt, N.G. McDowell, A. Moing, B. Muller, S.G. Nebauer, U. Niinemets, S. Palacio, F. Piper, E. Raveh, A. Richter, G. Rolland, T. Rosas, B.S. Joanis, A. Sala, R.A. Smith, F. Sterck, J.R. Stinziano, M. Tobias, F. Unda, M. Watanabe, D.A. Way, L.K. Weerasinghe, B. Wild, E. Wiley, D.R. Woodruff. 2015.

Non-structural carbohydrates in woody plants compared among laboratories. *Tree Physiology*. 35:1146-1165.

R Core Team. 2015. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien, AT.

Ramírez, J.A., I.T. Handa, J.M. Posada, S. Delagrange, C. Messier. 2018. Carbohydrate dynamics in roots, stems, and branches after maintenance pruning in two common urban trees species of North America. *Urban Forestry & Urban Greening*. 30:24-31.

Saavedra-Romero, L., D. Alvarado-Rosales, P. Hernández-de la Rosa, T. Martínez-Trinidad, G. Mora-Aguilera, J. Villa-Castillo. 2016. Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Madera y Bosques*. 22(2):15-27.

Scholz, T., A. Hof, T. Schmitt. 2018. Cooling effects and regulating ecosystem services provided by urban trees-novel analysis approaches using tree cadastre data. *Sustainability*. 10(3):2-18.

Schomaker, M.E., S.J. Zarnoch, W.A. Bechtold, D.J. Latelle, W.G. Burkman, S.M. Cox. 2007. *Crown-condition classification: A guide to data collection and analysis*. USDA Forest Service.

Sharma, D., M.I. Sabela, S. Kanchi, P.S. Mdluli, G. Singh, T.A. Stenstrom, K. Bisetty. 2016. Biosynthesis of ZnO nanoparticles using *Jacaranda mimosifolia* flowers extract: Synergistic antibacterial activity and molecular simulated facet specific adsorption studies. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*. 162:199-207.

Somogyi, M. 1952. Notes on sugar determination. The Journal of Biological Chemistry. 195:19-23.

Steinman, J. 2000. Tracking the health of trees over time on forest health monitoring plots. In M. Hansen y T. Burk (Eds.), Proc of the IUFRO Conference integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. 224-339. USDA Forest Service.

Stojnic, S., S. Pekec, M. Kebert, A. Pilipovic, D. Stojanovic, M. Stojanovic, S. Orlovic. 2016. Drought effects on physiology and biochemistry of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) and Hornbeam (*Carpinus betulus* L.). Saplings grown in urban area of Novi Sad, Serbia. South-East European Forestry. 7(1):1-8.

Suryanto, H., S. Supriyanto, N.F. Haneda. 2018. Molasses injection to improve growth and vitality of Kesambi (*Schleicera oleosa* Merr.) as lac insect host plant. Journal Penelitian Kehutanan Wallacea. 7(2):173-181.

Uhrin, P., J. Supuka. 2016. Quality assessment of urban trees using growth visual and chlorophyll fluorescence indicators. Ekológia (Bratislava). 35(2):160-172.

Valenzuela, N.L.M., P. Maillard, J.L. González B., G. González C. 2013. Balance de carbohidratos en diferentes compartimentos vegetales de encino (*Quercus pétrea*) y haya (*Fagus sylvatica*), sometidos a defoliación y sombra. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 8:33-38.

Westfall, J.A., A.W. Bechtold, K.C. Randolph. 2009. Tree crown indicator. In J.A. Westfall (Ed.), FIA National Assessment of data quality for forest health indicators (3-15).

Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North-eastern research service.

Wise, J.C., A.H. VanWoerkom, S.G. Acimovic, G.W. Sundin, B.M. Cregg, C. Vandervoort. 2014. Trunk injection: A discriminating delivering system for horticulture crop IPM. *Entomology, Ornithology & Herpetology*. 3(2):2-7.

Witham, F.H., D.F. Blaydes, R.M. Devlin. 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.

Zaouchi, Y., S. Rezgui, T. Bettaieb. 2015. Potential of arbuscular mycorrhization and fertilizer application in the improvement of the status nutrition and growth of *Jacaranda mimosifolia* D. Don grown under urban environment. *Journal of New Sciences*. 18(5):679-688.

Zaragoza-Hernández, A.Y., V.M. Cetina-Alcalá, M.A. López-López, A. Chacalo-Hilu, M. L. de la Isla B., H. González-Rosas. 2014. Indicador condición de copa y su aplicación en tres parques del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5(25):1-16.

Zhang, C.J., S.H. Lim, J.W. Kim, G. Nah, A. Fischer, D.S. Kim. 2016. Leaf chlorophyll fluorescence discriminates herbicide resistance in *Echinochloa* species. *Weed Research*. 56(6):424-433.

CONCLUSIONES GENERALES

Se determinó que la aplicación de enmiendas de carbohidratos al suelo urbano con glucosa y sacarosa es una alternativa fácil, rápida y económica de estimular el crecimiento de raíces finas. Debido a que las enmiendas con carbohidratos proveen de una reserva energética a la microbiota para desarrollarse con las subsecuentes mejoras en las características del suelo, que finalmente repercuten en la calidad de este y la disponibilidad de elementos asimilables para las plantas.

La inyección de carbohidratos al tronco de los árboles de jacaranda es un método alternativo para estimular el crecimiento vegetativo, sin embargo, favorece de forma poco significativa la vitalidad de esta especie. Lo anterior, ya que la aplicación de inyecciones de carbohidratos al tronco proporciona una reserva de carbohidratos a nivel de tallo de la planta, lo que en algún momento servirá para cubrir demandas energéticas o sobrellevar situaciones de estrés provenientes del ambiente urbano y de esta forma afrontar de mejor manera tales situaciones.

El uso de carbohidratos como enmiendas al suelo o inyectados al tronco de árboles de jacaranda estimulan el desarrollo vegetativo de los árboles y aparentemente en menor medida la vitalidad. Cabe señalar que hace falta llevar a cabo más investigación en esta especie tanto en la adecuación de las concentraciones, en el sistema de aplicación y/o en la distribución de los carbohidratos en campo, debido a la diversidad de condiciones y factores ambientales que afectan tanto a la especie como a la aplicación de suplementos a base de carbohidratos.

ANEXOS

Anexo 1. Curva estándar para azúcares totales por el método de antrona.

Se preparó una solución patrón con 5 mg de glucosa en 50 mL de agua destilada. De la solución patrón preparada se tomaron alícuotas como se muestra en el Cuadro A1 y se colocaron en tubos de ensayo, posteriormente se agregaron 3 mL de agua destilada, inmediatamente después se colocaron en un baño de hielo, y se les agregaron 6 mL de solución de antrona, previamente preparada con ácido sulfúrico (H₂SO₄), en una proporción de 4 g de antrona por 100 mL de ácido. Se llevaron los tubos a una temperatura de ebullición durante tres minutos, seguido de un baño de agua fría. Finalmente, se registró la absorbancia a 600 nm (Figura A1).

Cuadro A1. Disoluciones para preparar la curva estándar para azúcares totales.

Muestra	Solución patrón ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Agua Destilada (μL)	Antrona (mL)
1	20	2800	6
2	40	2600	6
3	60	2400	6
4	80	2200	6
5	100	2000	6
6	120	1800	6
7	140	1600	6
8	160	1400	6
9	180	1200	6
10	200	1000	6

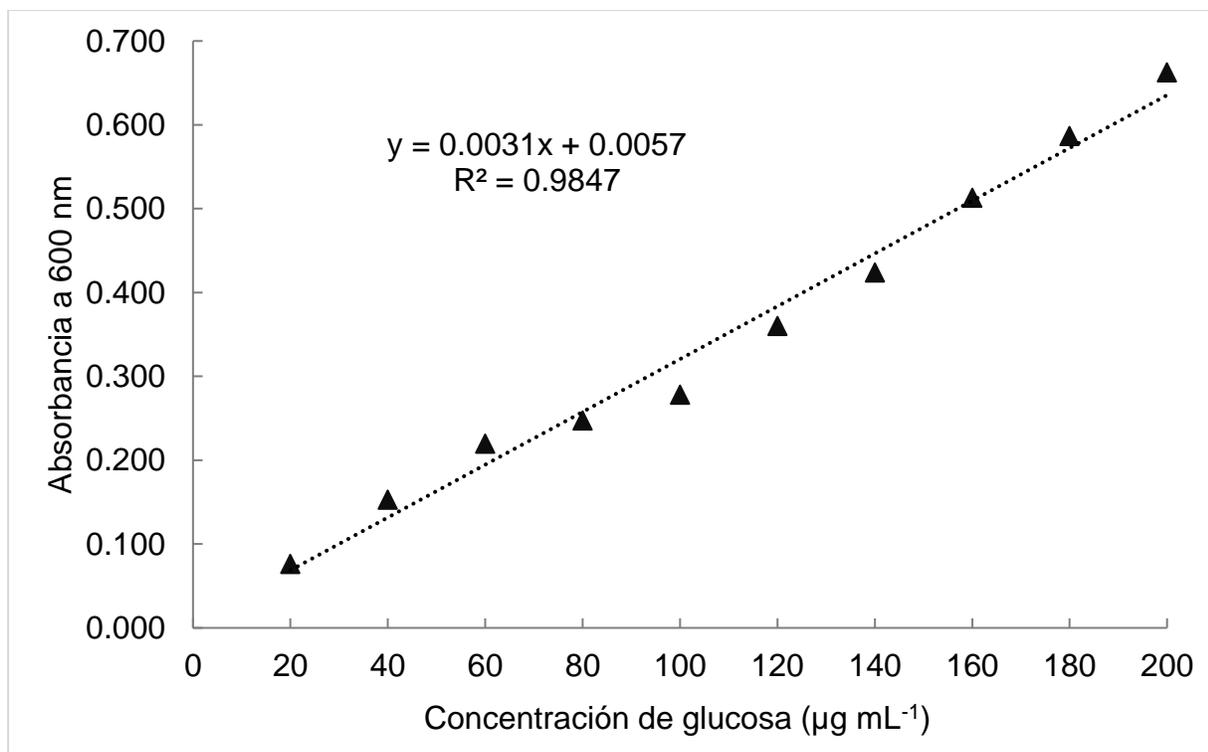


Figura A1. Curva estándar de calibración para azúcares totales por el método de antrona.

Anexo 2. Curva estándar para azúcares reductores por el método de Nelson-Somogyi.

Se preparó una solución patrón con 5 mg de glucosa en 50 mL de agua destilada. Se tomaron alícuotas como se indica en el Cuadro A2 y se colocaron en tubos de ensayo previamente cubiertos con papel aluminio ajustando el volumen a 1 mL con agua destilada. Posteriormente, a cada tubo se le agregó 1 mL de reactivo Nelson-Somogyi, y se agitaron vigorosamente. Los tubos se colocaron en baño maría a ebullición por 20 minutos, inmediatamente después se colocaron en un baño de hielo y se agregó 1 mL de reactivo de arsenomolibdato y se volvieron a agitar. Finalmente, se agregó 7 mL de agua destilada y se registró la absorbancia a 540 nm (Figura A2).

Cuadro A2. Disoluciones para preparar la curva estándar para azúcares reductores.

Muestra	Solución patrón ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Agua Destilada (μL)	Nelson- Somogyi (mL)	Arsenomolibdato (mL)
1	15	7985	1	1
2	30	7970	1	1
3	45	7955	1	1
4	60	7940	1	1
5	75	7925	1	1
6	90	7910	1	1
7	105	7895	1	1
8	120	7880	1	1
9	135	7865	1	1
10	150	7850	1	1

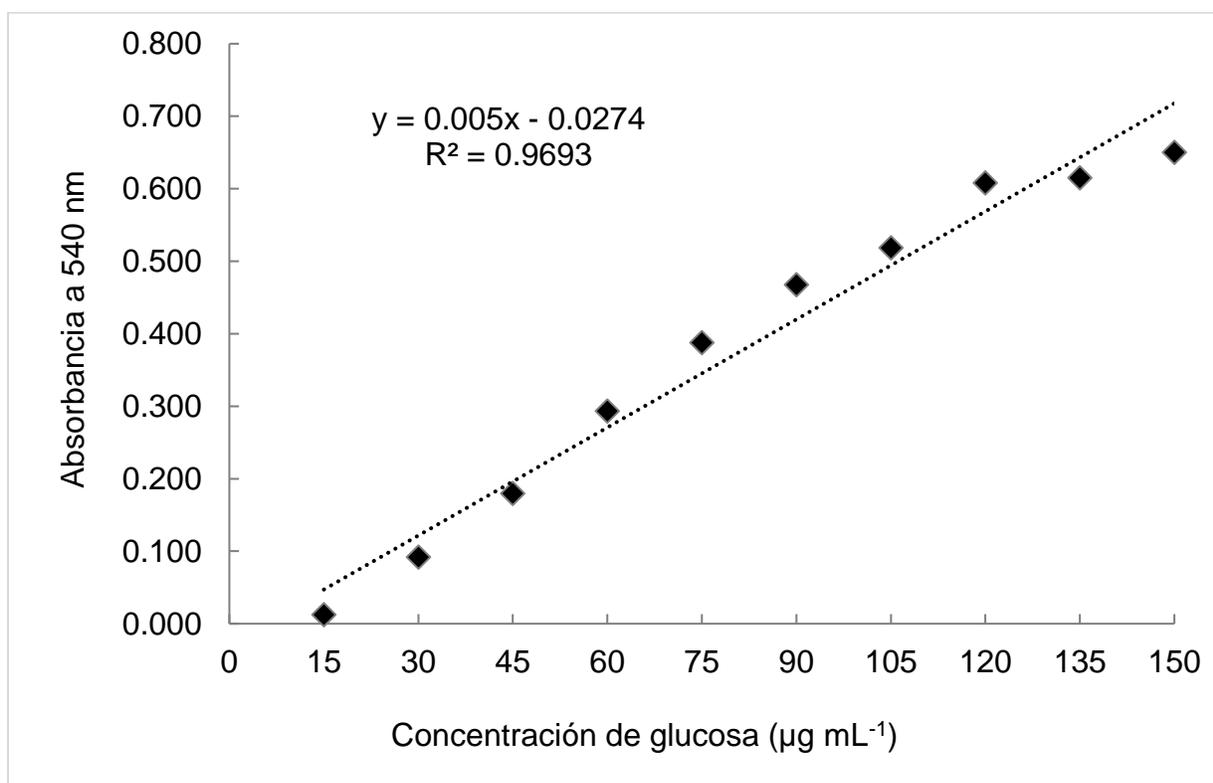


Figura A2. Curva estándar para azúcares reductores por el método de Nelson-Somogyi.