



Profesor,
Tecnológico
Nacional de México/
I. T del Valle de
Morelia, México
(leninmed@gmail.com)



Profesor,
Tecnológico
Nacional de México/
I. T del Valle de
Morelia, México
(asanchezduq@gmail.com)

Biocarbón como sustrato alternativo para reducir la huella gris en la producción de arándano en el centro de México

Lenin Ejecatl Medina Orozco

Iván N. Medina Orozco

Alexander Sánchez Duque

David Ariel Barrales Martínez



Estudiante de
Licenciatura,
Universidad Virtual
del Estado de
Michoacán, México
(ivnmedina@gmail.com)



Estudiante
de posgrado,
Universidad
Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo,
México (0829764k@umich.mx)

México es un exportador primario de arándano azul a los Estados Unidos de Norteamérica. Del 2008 al 2018, la producción de frutillas en el centro del país (Figura 1), creció aproximadamente ocho veces con respecto a las décadas precedentes. La estructura de producción de arándanos en el país está dominada por empresas transnacionales que definen los modelos a seguir para los productores (Pérez, 2018). De acuerdo con la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de México, la superficie que se cultivó de arándanos en el año de 2019 fue de aproximadamente 3 786 ha, de los cuales, el 43.3 % fue a cielo abierto, 5.7 % con malla sombra y el 51 % bajo sistema de macrotúnel.

Los productores de arándanos están adoptando recientemente el sistema hidropónico y abandonando paulatinamente el cultivo en suelo. La tendencia actual sugiere que en algunos años el cultivo será predominantemente hidropónico, debido a que es más sencillo su manejo para alcanzar los estándares que demanda el mercado de exportación. El sistema de producción hidropónico consiste en el uso de

bolsas o macetas rígidas de plástico y el sustrato ampliamente utilizado es la fibra derivada del coco. La producción de esta fibra para hidroponía es una industria relativamente nueva en el país (Gue-
rrero *et al.*, 2016).

El sistema hidropónico ofrece ventajas como son mejores rendimientos, alta calidad del fruto, mayor control del clima (principalmente por heladas y granizadas) y del suministro de nutrientes, producción temprana y uniforme, menor espacio para producir, fácil manejo de patógenos, disminución de costos en agroquímicos, entre otros. Además, se ha adoptado un sistema de protección de cultivos consistente en una estructura de macrotúnel y opcionalmente malla sombra, para protección del granizo y

finalmente una película plástica de cobertura del suelo, para el control de malezas (Voogt *et al.*, 2014).

Sin embargo, estos sistemas son altamente demandantes en materias primas externas incluyendo plásticos agrícolas que a futuro podrían representar un problema ambiental. Las principales fuentes de agua para el cultivo de arándano son pozos, manantiales y en menor proporción ollas de agua. Lo anterior ha favorecido que el cultivo se haya extendido principalmente sobre siete acuíferos, cinco de los cuales presentan una Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea (DMA) negativa, es decir, su recarga es menor que la extracción y además se caracterizan por presentar una buena calidad de agua (Comisión Nacional del



Figura 1. Mapa de México que muestra el estado de Michoacán correspondiente a la zona de estudio. Modificado de CONAGUA (2022).

Agua [CONAGUA], 2022). Estos sistemas extractivos representan una presión por la disponibilidad de los recursos hídricos para la producción agrícola y su disponibilidad para el consumo humano de las poblaciones cercanas a los núcleos de producción de frutillas.

Uno de los problemas más relevantes en cultivos bajo agricultura protegida es la huella hídrica que generan, principalmente la ocasionada por la huella gris, es decir, la que genera el escurrimiento cargado de contaminantes potenciales como son los nitratos (Chapagain y Orr, 2009). Los nitratos se consideran indicadores de la contaminación del agua y, por ende, su concentración es ampliamente utilizada en estudios de medición de la huella hídrica.

Las áreas de producción de arándano se ubican principalmente en las zonas de planicie de tres importantes cuencas endorreicas de México. La primera, la cuenca de Chapala que da origen a la laguna del mismo nombre y es la más grande del país; la segunda, la cuenca que origina la laguna de Cuitzeo, la segunda mayor en extensión; y finalmente, la cuenca de Pátzcuaro, que tiene una importancia hídrica por ser el lago más profundo del país y tener un reconocimiento histórico y cultural en México (CONAGUA, 2019). De lo anterior se desprende que la huella gris generada por el cultivo de arándano, además de la ya existente por presión del cultivo de aguacate y otras frutillas, representan un riesgo potencial para estos importantes cuerpos de agua.

La demanda de fibra de coco en México ha crecido en los últimos diez años en aproximadamente 16.9 % y una parte importante de los subproductos se destina como sustrato en cultivos hidropónicos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022). Sin embargo, la industria cocotera nacional presenta problemas de baja producción debido a plagas y enfermedades y a la falta de apoyo de programas de gobierno. Lo anterior conduce a una mayor demanda de fibra de coco importada, principalmente de Israel y a un aumento en el precio del producto. Como alternativa, se ha propuesto utilizar biocarbón fabricado a partir de residuos agrícolas para la producción en hidroponía (Awad *et al.*, 2017). La literatura sugiere que existe una mejor absorción de varios nutrientes en presencia del biocarbón; sin embargo, los resultados parecen ser dependientes de las características físicas y estructurales de los carbones, por lo cual, no es posible generalizar los resultados (Dispenza *et al.*, 2017).

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar un biocarbón derivado del olote de maíz y utilizarlo como sustrato para la producción de arándano azul en condiciones de hidroponía y medir la capacidad de retención de nitratos.

El estudio se realizó en un invernadero del Tecnológico Nacional de México ubicado en la periferia de la ciudad de Morelia, Michoacán, México. El clima regional del sitio de estudio es del tipo templado

subhúmedo con lluvias en verano que comprenden de junio a octubre.

El material vegetal utilizado fue el denominado arándano azul (*Vaccinium corymbosum* var. Biloxi). Los sustratos utilizados para la siembra consistieron de fibra de coco (27 L), para el grupo de plantas cultivadas convencionalmente. El sustrato alternativo fue biocarbón de olote de maíz (27 L), fabricado en un reactor de pirólisis rústico diseñado en el Instituto Tecnológico (**Figura 2**). Las temperaturas de combustión variaron entre 400 a 500 °C y la tasa de transformación de biomasa a biocarbón fue de 13 %. El biocarbón se usó en una proporción de 85 % de material grueso y el resto triturado (**Figura 3**).

La fertilización consistió de un riego a saturación de los sustratos y hasta alcanzar un drenaje de aproximadamente el 30 %, posteriormente se realizó una fertilización con solución nutritiva de venta comercial de HydroEnvironment® con mezcla de macroelementos y microelementos, con especificidad para el cultivo de arándano. La solución nutritiva se preparó a una tasa de 14 g/20 litros a pH de 4.0, acidificada con ácido fosfórico (15 mL/20L) y se aplicó un litro a cada planta diariamente. El gasto del fertirriego fue de 1L/10 min.

Las variables evaluadas fueron: supervivencia de la plántula al trasplante de la bolsa de vivero hacia el envase de producción, temperatura del sustrato, número de frutos por planta, producción de frutos y retención de nitratos por los

sustratos. La huella gris fue obtenida a partir de un modelo para hidroponía propuesto por Chapagain y Orr (2009) y en donde la concentración de nitratos se midió directamente del escurrimiento de las macetas. Los nitratos se colectaron y se determinaron inmediatamente después del riego con un ionómetro Horiba modelo LAQUAtwin. El diseño experimental consistió en dos bloques completos al azar de 30 plantas, intercalando plantas con sustrato en fibra de coco y con biocarbón. Los análisis estadísticos fueron de Anova unidireccional, incluido Tukey HSD. Los datos fueron procesados con el programa de la *Social Science Statistics* (<https://www.socscistatistics.com/>) y se consideró un valor de alfa de 0.05 para la significancia estadística.



Figura 2. Reactor de pirólisis lenta para producción de biocarbón. Fotografía: Lenin Medina.

Los resultados indican que la supervivencia de las plántulas fue igual en los dos sustratos (96.6 %), una planta muerta cada 30. Respecto al número de frutos por planta, los resultados fueron de 112.8 en fibra de coco y 106.8 con biocarbón ($p=0.863135$), lo que sugiere que no hay efecto significativo entre ambos sustratos. La fruta en peso húmedo (gramos/planta) indicó una producción similar en los sustratos: 68.1 g/planta y 60.2 g/planta, para fibra de coco y biocarbón, respectivamente ($p=0.726359$). Los valores de la temperatura máxima de los sustratos fueron de 22.9 y 23.8 °C en fibra convencional y biocarbón, respectivamente ($p=0.121435$). Un valor significativo del potencial Redox en los sustratos fue el cambio de pH de 4.0 del fertirriego a pH 6.0 en el agua de escurrimiento en ambos sustratos. El cambio de pH evidencia un cambio relevante en la química y posiblemente en la nutrición de las plantas. El efecto de la planta, del sustrato, o de ambos, sobre el pH del agua de escurrimiento sugiere que puede ser considerado como especie/sustrato de efecto básico, causado por la absorción de los aniones (NO_3^-) con la subsecuente liberación de iones OH^- (Dickson *et al.*, 2017). Por lo anterior, resulta importante estudiar sus efectos en la absorción de nutrientes de los cultivos para adecuar la formulación del fertilizante principalmente en cultivos con biocarbón.

Respecto a la concentración de los nitratos en la fertirrigación, ésta fue de 1087 mg/L, con un aporte de 8 mg/L de NO_3^- del agua utilizada para el riego.

Una vez que el agua infiltró a través de los sustratos se encontró que la concentración en promedio en la escorrentía fue de 614 mg/L para la fibra convencional y 321 mg/L en sustrato alternativo ($p=0.028151$). Estos resultados sugieren que el biocarbón es una alternativa para reducir la huella hídrica gris y, por ende, el potencial de contaminación de los cuerpos de agua por arrastre de nitratos. En otras palabras, la huella gris se podría reducir en aproximadamente 50 % cuando se utiliza biocarbón en relación con el uso de sustrato convencional. Por otro lado, estos resultados pueden ser punto de partida en otros cultivos debido a que el potencial del biocarbón para reducir huella gris ha sido poco explorado (Awad *et al.*, 2017).

Los resultados anteriores sugieren que el biocarbón es un sustrato alternativo a la fibra convencional del coco sin detrimento en la producción de los frutos y con la ventaja de ser un producto con carbono recalcitrante. Kuzyakov *et al.* (2014) estimaron que el tiempo de residencia de un biocarbón para los climas templados fue de aproximadamente 4 000 años, lo que sugiere que es un material potencialmente reutilizable durante centenas de años para la producción en hidroponía.

Teniendo en cuenta el potencial de contaminación de este cultivo por los nitratos y su acelerado crecimiento en superficie, es relevante identificar alternativas de cultivo para proteger las cuencas endorreicas del centro de México. Por lo anterior, el biocarbón es una propuesta viable para este cultivo; sin embargo,



Figura 3. Producción de arándano azul en dos sustratos: fibra de coco y biocarbón. Fotografía: Lenin Medina.

como propuesta nueva, siempre resulta imperativo continuar con los estudios básicos a largo plazo que permitan identificar otras variables no contempladas en este estudio como son absorción nutricional, concentración de azúcares en plantas, tamaño de frutos, etc., además de otras áreas de oportunidad para utilizar el biocarbón. Los resultados podrían variar con otras variedades de arándano,

que desafortunadamente por estar bajo las leyes de protección de las variedades vegetales no pueden ser adquiridas libremente.

El uso de biocarbón presentó valores similares en la producción de arándano azul con respecto a un sustrato convencional, por lo anterior, puede ser un sustituto viable. Las plantas/sustratos presentaron un efecto alcalinizante en el agua de escurrimiento, lo que podría indicar un cambio en la química del fertirriego. El biocarbón como sustrato presenta un potencial para su reutilización durante varios ciclos en cultivos semiperennes en hidroponía. El biocarbón reduce significativamente el escurrimiento de nitratos en comparación con la fibra de coco, lo que representa una alternativa para reducir la huella hídrica gris y puede reducir la contaminación en aguas superficiales de las cuencas del centro del país.

Agradecimientos

Se agradece al Programa de fortalecimiento de cuerpos académicos del PRODEP por el soporte financiero del proyecto: Huella hídrica del cultivo de arándano bajo agricultura protegida en el estado de Michoacán. Se agradece el apoyo de Carlo Giuseppe Medina Gómez por la medición de nitratos durante el periodo de restricción por la pandemia de la Covid-19.

Referencias

- Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E. E. y Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>
- Chapagain, A. K., y Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of environmental management*, 90(2), 1219-1228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.006>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2019). Sistema Nacional de Información del Agua: Sistema de cuencas 2019. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=mapa&o=4&n=nacional>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2022). Aguas Subterráneas: acuíferos. <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/michoacan/michoacan.html>
- Dickson, R. W., Fisher, P. R., y Argo, W. R. (2017). Quantifying the Acidic and Basic Effects of Fifteen Floriculture Species Grown in Peat-based Substrate. *HortScience*, 52(8), 1065-1072. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11926-17>
- Dispenza V., De Pasquale C., Fascella G., Mammano M. M., y Alonzo, G. (2017). Use of biochar as peat substitute for growing substrates of Euphorbia × lomi potted plants. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), e0908. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016144-9082>
- Guerrero González, J., Ramón Castillo, R., Herrera Rol-dán, V., y Alejandro Pantoja, E. J. (2016). Consumo de subproductos del coco en industrias de México. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(8), 1 - 21. <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/30>
- Kuzyakov, Y., Bogomolova, I., y Glaser, B. (2014). Biochar stability in soil: decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific 14C analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 70, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.021>
- Pérez Cruz, O. A. (2018). Análisis de la cadena productiva del arándano en México y Chile. *Portes: Revista Mexicana de Estudios Sobre la Cuenca del Pacífico*, 12(23), 31-62. <http://www.portesasiapacifico.com.mx/revistas/epocaiii/numero23/2.pdf>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2022). Producción de copra y coco en México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-de-copra-y-coco-en-mexico?idiom=es>
- Voogt, W., Van Dijk, P., Douven, F., y Van der Mass, R. (2014). Development of a soilless growing system for blueberries (*Vaccinium corymbosum*): nutrient demand and nutrient solution. *Acta Horticulturae*, 1017, 215-221. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.27>