

Estimación de la Huella hídrica, calidad de agua y alternativas para la producción de arándano en el centro de México

Lenin E. Medina Orozco¹; Salvador Alí Villanueva Nava¹; Alexander Sánchez Duque¹; Rebeca González Villegas¹; Ariel Barrales Martínez²; Iván N. Medina Orozco²; Martha A. Perales Rivas³;

¹Tecnológico Nacional de México/I.T del Valle de Morelia, ²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ³Universidad Autónoma Chapingo-CRUCO Morelia,

Correo de contacto: leninmed@gmail.com

Resumen

La huella hídrica es un indicador para medir el volumen de agua utilizada en la producción de un bien o servicio y se compone del agua verde, azul y gris que distinguen las características del mismo; precipitación, irrigación y volumen requerido para diluir un contaminante. Para el año 2100 se estima que la exportación mundial de aguas subterráneas no renovables para producir alimentos cultivados, se concentrará en las regiones de Estados Unidos, México, Oeste de Sudamérica y África del Norte. Por otro lado el agua utilizada en agricultura para exportación en México, es de alta calidad en contraste con el líquido utilizado para los productos de consumo interno. El objetivo del presente estudio fue estimar la huella hídrica durante el proceso de producción del arándano en condiciones de hidroponía. Se seleccionaron ranchos representativos de arándano de las regiones productivas del estado. Se realizaron muestreos para medir el volumen de agua de riego y del escurrimiento y se midieron los nitratos. Los análisis del agua del riego fueron proporcionados por los productores. En el estudio se consideraron únicamente la huella azul y gris por ser agricultura protegida. Los resultados indican que se realizan siete riegos al día con duración de cinco minutos y cinco de ellos como fertirriegos; con lo anterior se estimó una huella azul de 41.1 m³/t. El agua de escurrimiento presentó valores promedio de 34.78 mg/L de nitratos superando los valores permisibles (10 mg/L) obteniendo una huella gris de 21.16 m³/t. Por lo anterior, la huella hídrica equivale a 62.27 m³/t. Los análisis de aguas de riego indican que los parámetros se encuentran por debajo de los límites permisibles para aguas de uso y consumo humano. Finalmente, como una estrategia de mitigación de la huella gris se sembraron arándanos usando como sustrato el biocarbón teniendo hasta este momento, tasas de supervivencia de la planta de 100%.

Palabras clave: agua virtual, agua exógena, biocarbón.

Introducción

En México el tema de la escasez de agua es un problema a enfrentar en la actualidad y en un futuro. Por lo anterior, es necesario explorar nuevos métodos para el aprovechamiento del agua en sus diversos usos y la huella hídrica que generan. La agricultura consume aproximadamente un 80% del agua dulce disponible actualmente, sin embargo, se incrementará considerablemente con la demanda de alimentos estimados a nivel mundial para el año de 2050 con proyecciones de 70 % al nivel actual (Velasco-Muñoz *et al.*, 2018). La Huella Hídrica (HH) es uno de los métodos novedoso de investigación que ayuda a medir la

cantidad de agua consumida en el proceso productivo de la agricultura y permite contar con bases para desarrollar estrategias para priorizar las acciones que permitan reducir el uso de agua en las actividades productivas (Ridoutt *et al.*, 2009). Uno de los principales factores que determinan la huella hídrica de los países, tanto interna como externa, se debe a la producción de alimentos agrícolas. La huella hídrica de una nación se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por la gente de una nación. Dado que no todos los bienes consumidos en un país se producen en el mismo, la huella hídrica consiste de dos componentes: uso de los recursos hídricos domésticos y uso del agua fuera de las fronteras del país (Hoekstra & Chapagain, 2006). Del agua consumida en un país a través de alimentos no producidos en el mismo, es decir, mediante productos importados, se puede hacer mención al término de Agua Virtual (AV) o como lo ha definido Haddadin (2003) es “agua exógena”. Se estima que para el año de 2100 la exportación mundial de aguas subterráneas no renovables para producción de alimentos cultivados, se concentrará en las regiones de Estados Unidos, México, Oeste de Sudamérica y África del Norte. Lo anterior principalmente por el agotamiento que tendrán países exportadores de agua subterránea y que se proyecta se reduzca drásticamente a mediados de siglo (Graham *et al.*, 2020).

México es un importador neto de agua virtual, principalmente de los Estados Unidos de Norteamérica, el volumen de AV de sus importaciones, es superior al de sus exportaciones; durante el periodo 1996 a 2005, fue el segundo importador neto en el mundo, solo después de Japón, y el mayor en América, tanto por comercio agrícola, como pecuario e industrial (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Sin embargo, la Huella Hídrica en México en la producción de alimentos agrícolas, es muy poco conocida o poco explorada y ha sido un tema de mucho interés para realizar nuevas investigaciones como menciona Vázquez del Mercado & Lambarri (2017) es necesario estudiar con detalle la sostenibilidad de la Huella Hídrica de México, así como la relación entre sus recursos hídricos y soberanía alimentaria, para orientar y articular de mejor manera las políticas públicas, especialmente de las hídricas, ambientales, agrícolas, comerciales y energéticas.

El cultivo del arándano en México ha tenido un crecimiento importante por su gran demanda en el comercio internacional y por su buena rentabilidad para los medianos y grandes productores del país; un dato contundente es que ocupa el cuarto lugar a nivel mundial y exporta el producto principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica y se debe principalmente porque las empresas productoras son de aquel país y la frutilla es enviada a plataformas comerciales. Lo anterior ha generado una tecnificación muy importante en el centro del país consistente principalmente por macrotúneles de plástico y en hidroponía (Pérez Cruz, 2018).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue medir la huella hídrica y analizar la calidad de agua de riego en la producción de arándanos en el centro de México, para implementar estrategias de disminución de la huella.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el centro de México (estado de Michoacán y municipio de Acuitzio del canje), se localiza en el centro del Estado, en las coordenadas 19°30" N y en los 101°20" O y a 2,080 msnm. El clima es templado con lluvias en verano (Cb), donde su

régimen de lluvias se caracteriza por presentar diez veces más lluvia en el mes más húmedo (julio), de la mitad caliente del año que en el mes más seco (febrero), la relación precipitación / temperatura (P/T) > 55.0 (Carlón-Allende y Mendoza, 2007).

Se seleccionó un macrotúnel representativo del cultivo del arándano de exportación y se muestreo durante tres meses del año 2020. La superficie del sitio de estudio comprende 2 ha y una densidad de 9000 plantas. El sistema de producción es hidropónico en bolsa de plástico con antioxidante y resistente a rayos ultravioleta. El sustrato consiste de fibra de coco especial para el cultivo de berries por su composición, 85% fibras gruesa, 15% polvillo y el tamaño de partículas que va de los 20 a 60 milímetros, presenta buen drenaje además y aireación. Las bolsas con berries descansan sobre una malla de polipropileno *Ground cover* para evitar el desarrollo de arvenses al interior del invernadero y en bloques de concreto para evitar el contacto de la bolsa contenedora con la malla (Figura 1).

El macrotúnel seleccionado y se dividió en tres segmentos en función de la línea de riego: 1) entrada, 2) medio y 3) final de la línea. Lo anterior con el propósito de tener una representatividad del volumen de riego que es aplicado por bolsa /día.

El modelo general para estimar los componentes de la huella hídrica en el arándano; se basó en el manual propuesto para este propósito por Hoekstra *et al.* (2011) y utilizado ampliamente a nivel mundial. Para el caso de arándano se realizaron ajustes al esquema general de Huella Hídrica propuesto por Chapagain & Orr (2009), para cultivos de jitomate en invernadero de España. La evaluación solamente consideró dos componentes de la huella hídrica, el primero, el agua azul que consiste en el agua que ingresa al sistema por irrigación; el agua verde, no se consideró en esta investigación, porque el cultivo evaluado se encuentra en un sistema controlado (macrotúnel) y en hidroponía, por lo que el agua pluvial no entra en el sistema de manera directa, sino como agua azul (Chapagain & Orr, 2009). El segundo componente, la huella gris fue adaptado para un modelo en hidroponía y en donde el escurrimiento se midió directamente recogiendo el agua en charolas de plástico instaladas debajo de las bolsas de plástico. Para la estimación total de la huella hídrica se multiplicaron los valores colectados en el campo por 365 días que comprenden un año.

El agua azul se midió a partir del volumen de agua utilizada en el riego y medido de manera directa en el sistema de goteo con una probeta graduada. La Huella gris se midió como el agua de escurrimiento del cultivo y su concentración de nitratos determinado en campo con un ionómetro Horiba modelo LAQUAtwin. Los valores se contrastaron con el valor límite permisible por la Normatividad mexicana (NOM-127-SSA-1994) para nitratos para aguas corrientes (10 mg/L) y se estimó el volumen de agua necesaria para diluirlo hasta el límite indicado en la norma.

Se analizaron tres pozos de agua de riego de la región productora de arándano para conocer la calidad de agua con la que se riega la planta. Entre los análisis indicadores de la calidad se consideraron los nitratos, fosfatos, carbonatos, sulfatos, cloro, calcio, magnesio, sodio, potasio y metales pesados: Al, As, Pb, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cd, Be y Cu y contrastados con la NOM-127-SSA-1994 (DOF, 1996). Los análisis fueron realizados por dos laboratorios certificados ante la entidad mexicana de acreditación, A.C. (EMA) para laboratorios de ensayos, calibración, entre otros.

Finalmente, se instaló un sistema similar al estudiado, en un invernadero perteneciente al Tecnológico Nacional de México en la zona de influencia del cultivo de berries. Se sembraron las plántulas de arándano provenientes de un vivero certificado en México y se sembraron en bolsas contenedoras con fibra de coco, *peat moss* (turba de *Sphagnum* sp.) y biocarbón derivado de olotes de maíz.



Figura 1. Sistema de cultivo de arándano en hidroponía bajo un macrotúnel en el centro de México (Michoacán).

Resultados y discusión

El rendimiento del cultivo de arándanos fue de 950 g/planta resultando un estimado de 4.27 t/ha. El volumen de agua utilizada para obtener estos rendimientos fue de 41.11 m³ o 39.5 L/kg de la frutilla, volúmenes considerados como la huella azul de este sistema de producción.

Los resultados indican que la concentración promedio de nitratos en el agua de escurrimiento fue de 34.78 mg/L. Con base en la concentración y el límite permisible por la normatividad (10 mg/L) se obtuvo una huella gris de 21 m³/t.

La suma de los dos componentes de la huella estimados, sugieren que la huella hídrica para la producción del arándano bajo las condiciones de este estudio fue de 62.27 m³/t.

De acuerdo con Chapagain & Orr (2009), los resultados obtenidos en el presente estudio son superiores a la huella hídrica del jitomate producido en España en 19 regiones. Es significativamente inferior a la huella hídrica de varios cultivos a cielo abierto (Ridoutt *et al.*, 2009) y que puede explicarse por el sistema hidropónico y del sistema por goteo (Velasco-Muñoz *et al.*, 2018). Sin embargo, es necesario mencionar que los valores de la huella gris pueden modificarse y no ser comparables entre diversos estudios, lo anterior porque depende de los límites permisibles usados para estimar la dilución del nitrato o para otros elementos utilizados en su cálculo; por ejemplo, para los Estados Unidos de Norteamérica, es frecuente utilizar un valor de 50 mg/L utilizado para aguas abiertas o bien, el valor de la EPA que sugiere un valor de 45 mg/L (Chapagain & Orr, 2009), como puede apreciarse, con dichos valores, no sería necesario un volumen adicional de agua para diluir los nitratos obtenidos en nuestro estudio.

En lo que respecta a la calidad de agua utilizada en varios ranchos productores de arándano, los resultados indican que la concentración de elementos como nitratos, fosfatos, carbonatos, sulfatos y otros, así mismo en lo que respecta a los metales pesados, todos fueron inferiores a los límites permisibles de la Norma Oficial Mexicana. Los valores obtenidos reflejan la calidad de agua óptima para la producción de arándanos y con calidad para el consumo humano. Es necesario mencionar que en México se producen más de 500 m³/s de aguas residuales y en su mayoría son reutilizadas en la agricultura (Morin, 2009). Del agua proveniente de fuentes subterráneas de agua alrededor del 80 % es utilizado para la agricultura y el restante para el abastecimiento público, industria, generación de energía eléctrica, entre otros (De La Peña *et al.*, 2013). Resulta evidente que el cultivo de frutillas, compite de manera directa con el agua de calidad que demanda la población para usos domésticos.

Finalmente, los resultados parciales del uso de biocarbón como sustrato en el cultivo de arándano, sugieren que es un sustrato viable debido a que a la fecha, se cuenta con plantas sanas y similares en desarrollo y vigor a las que se cultivaron en fibra de coco y *peat moss*; además, se han adaptado aún después de realizar la poda de formación observándose nuevos brotes, lo que sugiere que la raíz se ha desarrollado satisfactoriamente (Figura 2). La finalidad de dar seguimiento a las plantas de arándano en biocarbón, consiste en las bondades que la literatura le otorga al biocarbón para eliminar contaminantes en aguas residuales de la agricultura, entre muchos otros (Major *et al.*, 2009). Con lo anterior, se tiene proyectado reducir la huella gris que genera el cultivo en el centro de México.



Figura 2. Arándanos jóvenes con sustrato de biocarbón y de fibra de coco una semana después de la poda de formación.

Conclusiones

Se concluye que la huella azul del cultivo de arándano en agricultura protegida (41.1 m³/t) fue alta comparada con la literatura en algunos cultivos bajo protección. El agua de escurrimiento presentó valores promedio de 34.78 mg/L de nitratos superando los valores permisibles (10 mg/L). La huella gris de 21.16 m³/t fue alta con base en los límites permisibles que marca la Norma Oficial Mexicana. La huella hídrica del cultivo estudiado, equivale a 62.27 m³/t superior a otros cultivos en invernadero; sin embargo, es significativamente baja en contraste

con cultivos a cielo abierto. Los análisis de aguas de riego indican que los parámetros se encuentran por debajo de los límites permisibles para aguas de uso y consumo humano, pero genera una presión con el agua que demanda el uso doméstico. Finalmente, como una estrategia de mitigación de la huella gris, los arándanos cultivados en sustrato el biocarbón presentaron tasas de supervivencia de la planta de 100% y se visualiza como estrategia para reducir la huella hídrica.

Agradecimientos

Al financiamiento otorgado por el proyecto: Huella hídrica del cultivo de arándano bajo agricultura protegida en el estado de Michoacán. Fortalecimiento de Cuerpos Académicos. Prodep-SEP 2020. Al proyecto: Huella hídrica en cultivos de arándano en condiciones de invernadero. Convocatoria 2021: proyectos de investigación científica. Tecnológico Nacional de México.

Literatura Citada

Carlón Allende, T., & Mendoza, M. E. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones geográficas*, (63), 56-76.

Chapagain, A. K., & 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

De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*. Nota técnica IDB-TN-521, 12.

DOF Diario Oficial de la Federación. (1996). Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. México. México, D.F. 18 de enero de 1996.

Graham, N. T., Hejazi, M. I., Kim, S. H., Davies, E. G., Edmonds, J. A., & Miralles-Wilhelm, F. (2020). Future changes in the trading of virtual water. *Nature communications*, 11(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17400-4>

Haddadin, M. J. (2003). Exogenous water: A conduit to globalization of water resources. In *Virtual water trade: proceedings of the International expert meeting on virtual water trade. Value of water research report series* (No. 12, pp. 159-169).

Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. In *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48). Springer, Dordrecht.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., & Aldaya, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.

Major, J., Steiner, C., Downie, A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar effects on nutrient leaching. Biochar for environmental management. In: Lehmann, J., & Joseph, S.

(Eds.). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.

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).

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). *National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Volume 1: Main Report.

Morin, D. R. L. (2009). El uso de aguas residuales en la agricultura en México. *Ambiente y Desarrollo*, 13(24), 9-28.

Ridoutt, B. G., Eady, S. J., Sellahewa, J., Simons, L., & Bektash, R. (2009). Water footprinting at the product brand level: case study and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 17(13), 1228-1235. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.002>

Vázquez del Mercado, A. R., & Lambarri, B. J. (2017). *Huella hídrica en México: Análisis y perspectiva*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J., & Román-Sánchez, I. M. (2018). Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability*, 10(4), 1084. <https://doi.org/10.3390/su10041084>