



IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

AVANCES EN LA ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LA JOJOBA (*Simmondsia chinensis L.*): ARBUSTO CON POTENCIAL AMBIENTAL Y ECONÓMICO PARA ZONAS ÁRIDAS

Fidencio Cruz-Bautista^{1*}; Ana L Bautista-Olivas¹

¹Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo Son. México.

fidencio.cruz@unison.mx (*Autor de correspondencia)

Resumen

En este trabajo se estimó el requerimiento hídrico de una plantación experimental de Jojoba (*Simmondsia chinensis L.*) en la Costa de Hermosillo, Sonora. Pues esta planta se visualiza como una alternativa ambiental y económica, que permite recuperar tierras marginales, producir aceite y disminuir el impacto de la escasez de agua. Por lo cual, se calculó la evapotranspiración de la jojoba (ET_c) con el programa informático CropWat. Los valores de la ET_c se corrigieron con el factor de cobertura, obteniendo así la evapotranspiración real del cultivo (ET_{c-aj}), es decir, para condiciones no estándar. Para monitorear la dinámica de la humedad en la zona radicular de la planta de jojoba se utilizaron sensores de matriz granular "Watermark". Como resultado del análisis de los valores de la ET_{c-aj}, la dinámica de la humedad del suelo, el periodo de maduración y cosecha de frutos de la jojoba y la precipitación media mensual, se determinó una lámina de riego anual de 660 mm. Esta lámina de riego representa el 78 % de la ET_{c-aj}, el 60 % de la ET_c y el 38 % de la evapotranspiración potencial (ET_o) anual, para las condiciones climáticas del sitio experimental. Asimismo, se determinó que se ésta lámina debe aplicarse en doce riegos. En los meses de febrero a abril y de agosto a octubre los riegos deben ser mensuales, de mayo a julio puede ser cada 20 días. Entre los meses noviembre a enero se recomiendan dos riegos con un intervalo de 45 a 50 días.

Palabras claves: necesidades hídricas, CropWat, jojoba, evapotranspiración, riego.



Introducción

La escasez de agua para la agricultura es el principal factor limitante de la producción de alimentos. Limitación que serán mucho mayor en los próximos años, de acuerdo con las previsiones de cambio Climático Global pronosticado por organismo internacionales (Medrano et al, 2007). Para superar la escasez de agua, un tema clave a considerar es la eficiencia con la que las plantas usan el agua. En este sentido, un enfoque prometedor es el uso del riego deficitario controlado o de cultivos tolerantes al estrés hídrico.

Sin embargo, se requiere de la estimación precisa de la demanda hídrica de los cultivos para una gestión adecuada del riego. Pero este proceso de estimación de la demanda hídrica es bastante complejo; porque depende de muchos factores que son variables como el clima y la fenología misma del cultivo, entre otros (Allen et al., 1989).

Una metodología ampliamente utilizada para la estimación de las necesidades de agua de la cubierta vegetal es la evapotranspiración (ET). Sin embargo, la evapotranspiración bajo condiciones no estándar como la de los cultivos agrícolas difieren de las condiciones óptimas. Por lo cual se requiere determinar con precisión la tasa de evapotranspiración real del cultivo (ETc). Es decir, la demanda real de agua que debe aplicarse en cada etapa del cultivo para maximizar el margen bruto del agua de riego.

Otra alternativa para disminuir el impacto de la escasez de agua es la utilización de plantas tolerantes a la sequía, como la jobjoba (*Simmondsia chinensis* L.). Esta planta muestra menor demanda de agua con respecto a los cultivos perennes convencionales. Es resistente a la sequía y es tolerante a la salinidad; por lo tanto, puede crecer bien en tierras marginales (Ash et al., 2005). Pues se ha documentado que los rodales nativos de jobjoba crecen en áreas con menos de 120 mm de lluvia por año.

La Jobjoba es actualmente la segunda planta nativa de mayor valor económico del desierto de Sonora. Su semilla produce una cera líquida, única en el reino vegetal, con excelentes características que se usan en más de 300 productos de las industrias cosmética, farmacéutica y de lubricantes (El-Bassam, 2010), (Khan *et al.*, 2017). Por lo cual, esta especie se visualiza, en el noroeste de México, como una alternativa ambiental y económica para la diversificación productiva, disminuir el impacto de la escasez de agua, recuperar tierras marginales, producir aceite, entre otros. Sin embargo, se desconocen las cantidades óptimas de agua requeridas por la jobjoba durante su desarrollo y etapas fenológicas.

Por lo anterior, el objetivo en este trabajo fue estimar el requerimiento hídrico anual de la jobjoba, mediante el uso del programa informático CropWat y Sensores de Matriz Granular "Watermark".



Materiales y métodos

Este estudio se realizó en plantas de jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) de ocho años de edad, cultivadas en la huerta experimental del Campo Agrícola del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Son.

El marco de plantación es de 2 m entre plantas y 5 m entre hileras, para una población de 270 plantas de jojoba en la parcela. El agua de riego se aplica a las plantas mediante goteo. El sistema de riego se compone con manguera de polietileno de 17 mm y goteros de 4 litros por hora (LPH). Las líneas de riego están colocadas en las hileras de las plantas. En cada planta se tienen dos goteros instalados, a una distancia de 0.5 m del tallo; los cuales aplican un caudal total de 8 LPH.

Se usó el programa informático CropWat de la FAO para estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante el año 2017. La información climatológica utilizada en el CropWat se obtuvo de la estación automatizada (EMA) del Servicio Meteorológico Nacional, estación UNISON (29°0'5" - 111°8'8"). También se utilizaron datos del cultivo y suelo, reportados en las Tablas 1 y 2.

Los valores de evapotranspiración del cultivo (ETc), obtenidos para las condiciones del sitio experimental, se ajustaron con la ecuación (1). Esta ecuación se utiliza para corregir la evapotranspiración de los cultivos regados bajo esquemas de cobertura parcial (P) o en riego localizado; es decir, bajo condiciones no estándar (ETc-aj).

$$ETc_{aj} = ETc \left[P + \frac{1}{2}(1 - P) \right] \dots\dots\dots (1)$$

donde;

$$P = \frac{\text{area sombreada}}{\text{marco de plantación}} = \frac{\pi \frac{d^2}{4}}{A*B} \dots\dots\dots (2)$$

ETc_{aj} = Evapotranspiración del cultivo ajustada (mm día⁻¹), *P* = Factor de cobertura o sombreado al medio día (0<*P*<1), *d*= diámetro de copa del cultivo (m), *A*= separación entre planta (m) y *B*= separación entre hileras (m).

La textura del suelo, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, se determinaron en laboratorios del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. La tasa de infiltración del suelo y profundidad radicular de las plantas se determinaron en el sitio experimental (Tabla 2).

Tabla 1. Información de cultivo utilizada en el programa CropWat para la estimación del requerimiento de agua para la Jojoba en la parcela experimental.

Etapa	Inicial	desarrollo	medio	final
Longitud (días)	20	55	85	200
Valores de Kc (Ovalle, 2012)	0.4	0.6	0.65	0.7
Agotamiento crítico	0.80	0.80	0.80	0.80
Profundidad radicular (m)	0.90	0.90	1.00	1.00



Altura de cultivo (m)	2.00	2.10	2.25	2.25
Diámetro de copa (m ²)	5.25	5.30	5.90	5.90

Por otra parte, se instalaron sensores de matriz granular (Watermark 200) para monitorear la humedad del suelo, en la zona radicular de las plantas de Jojoba. Para la instalación de los sensores, previamente calibrados, se seleccionaron 4 plantas representativas del área de estudio. El primer Watermark se instaló a 10 cm de separación del tallo de la planta y a 10 cm del gotero; a una profundidad de 45 cm. El segundo sensor se instaló a 35 cm y el tercero a 20 cm de profundidad respectivamente y con una separación de 5 cm entre sensores. El periodo de monitoreo de la humedad del suelo fue de abril a noviembre de 2017, bajo el régimen del riego actual con una lámina total de 720 mm.

Tabla 2. Constantes de humedad, capacidad de retención y tasa de infiltración del agua del suelo de la parcela experimental utilizada para la estimación del requerimiento de agua para la Jojoba.

Clase textural	Densidad Aparente (gr cm ⁻³)	Capacidad de Campo (θ vol %)	Punto de Marchitez Permanente	Humedad de suelo disponible (cm m ⁻¹)	Tasa máxima de infiltración (mm día ⁻¹)	Profundidad radicular máxima (cm)	Lámina de riego neta aplicable
Franco-Arenoso	1.37	25.12	11.49	13.66	348.7	100	7.7

Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos con el programa CropWat y ajustado con la ecuación (1) muestran que el requerimiento hídrico anual para la Jojoba es de alrededor de 850 mm de agua, como se observa en la Figura 1. Este requerimiento hídrico ajustado representa el 75 % de la evapotranspiración del cultivo y el 48 % de la evapotranspiración potencial anual, para las condiciones climáticas y las características edáficas e hidráulicas del sitio experimental.

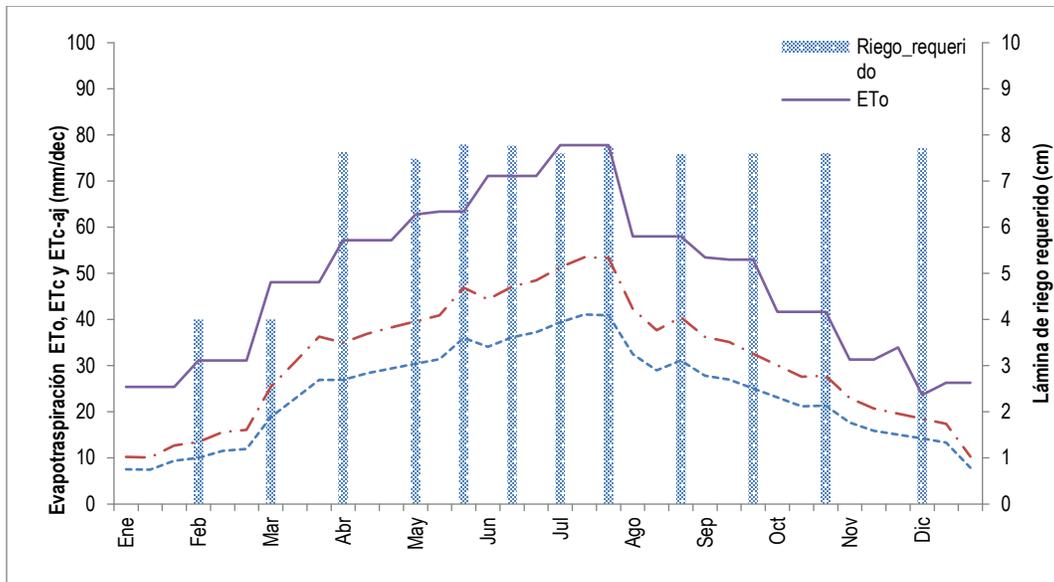


Figura 1. Evapotranspiración y requerimiento hídrico anual estimado para la jojoba, bajo las condiciones climáticas y características edáficas e hidráulicas del sitio experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Son.

Por otra parte, la dinámica de la humedad en la zona radicular de las plantas de jojoba, registrado con los sensores Watermark, muestra que el requerimiento de agua por las plantas puede ser menor. Pues se aprecia que la variación mayor y más frecuentes en el contenido de la humedad se presenta en el periodo de mayo a octubre (Figura 2). Posteriormente esta variación de la humedad en la zona radicular disminuye y se estabiliza para los meses siguientes. Es decir, la demanda de agua por las raíces de la jojoba disminuye., lo cual se asocia con la disminución de la demanda atmosférica (Figura 1), la transpiración y la fotosíntesis neta de la planta.

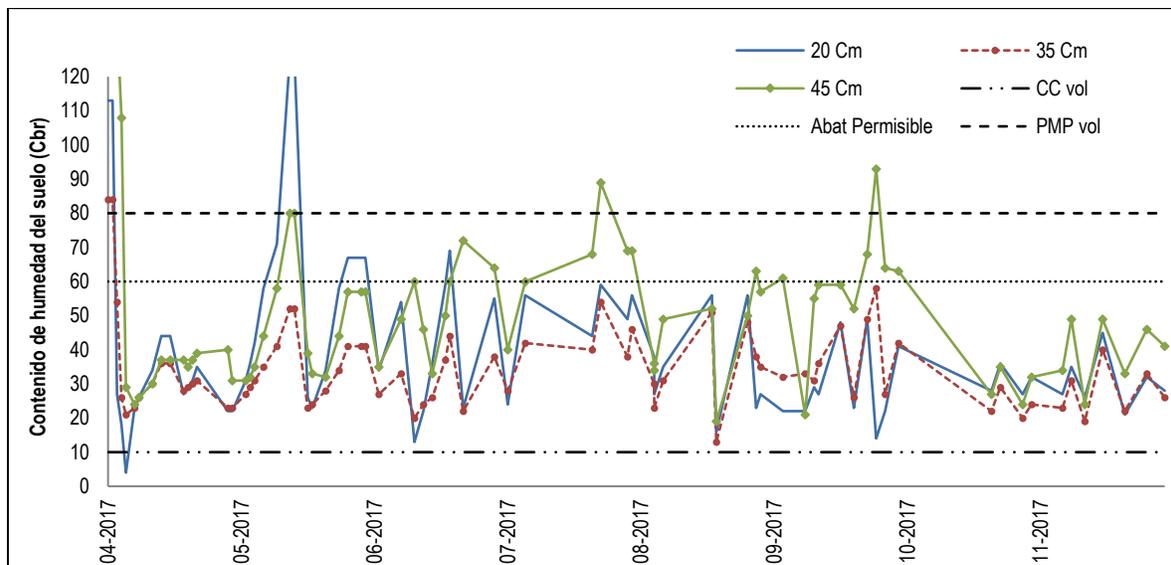


Figura 2. Dinámica de la humedad del suelo en la zona radicular de la planta de jojoba, registrados con los sensores Watermark 200 en el sitio experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Son.



Combinando los resultados del requerimiento hídrico ajustado (Figura 1) y la dinámica de la humedad del suelo en la zona radicular de la planta de jojoba (Figura 2) con el periodo de maduración y cosecha de frutos (junio y julio) y la precipitación media mensual de agosto (80 mm), se obtiene finalmente una lámina de riego anual ajustada con un valor total de 660 mm, como se muestra en el Tabla 3. Esta lámina de riego ajustada representa el 78 % de la evapotranspiración de cultivo ajustada (ETc-aj), el 60 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el 38 % de la evapotranspiración potencial (ETo) anual, estimado para las condiciones climáticas y las características edáficas e hidráulicas del sitio experimental.

Tabla 3. Calendarización del riego y requerimiento hídrico para la jojoba, para las condiciones climáticas y características edáficas e hidráulicas del sitio experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Son.

No. Riego	Fecha	ETc _{aj} acumulada (mm)	Lamina neta recomendada (cm)	Intervalo entre riegos (días)
1	03-feb	40.3	4.0	55
2	05-mar	40.3	4.0	30
3	06-abr	76.4	7.7	30
4	02-may	74.9	7.7	26
5	26-may	77.9	7.7	18
6	18-jun	77.7	4.0	22
7	08-jul	76.0	4.0	20
8	27-jul	77.5	4.0	19
9	21-ago	75.9	4.0	24
10	18-sep	76.0	7.7	27
11	21-oct	76.1	7.7	33
12	07-dic	77.2	4.0	46
Total=		846.2	66.5	

Como se observa en la tabla anterior, la lámina de riego total de 660 mm es superior a los 360 mm que recomienda Meza (2013) y superior a los 550 mm que recomiendan Ortiz y Muñoz (1979) y SIRE-CONABIO-PRONARE (2007). En contraste, este requerimiento hídrico es similar a la lámina de 600 – 700 mm que recomienda Ayerza (1993) y la lámina de 650 mm que recomienda Harsh (2001).

Respecto a la calendarización y las láminas recomendadas para cada evento de riego (Tabla 3), se determinó que la frecuencia entre los riegos en los meses de febrero a abril es mensual y de mayo a julio puede ser cada 20 días. Nuevamente se recomiendan riegos mensuales en los meses de agosto a octubre y de noviembre a enero pueden ser entre 45 a 50 días. Pues en este periodo disminuye la demanda atmosférica (Figura 1) y la demanda de agua por las raíces de la jojoba (Figura 2). Esta calendarización muestra gran similitud con las recomendaciones que hacen Ayerza (1993) y Harsh (1987). Ayerza (1993) sugiere riegos mensuales con la lámina de 5 cm y Harsh (1987) recomienda lámina de riegos de 6 cm de manera mensuales de



septiembre a diciembre, riegos con intervalo de 45 días de enero a marzo y riegos quincenales de abril a junio.

En cambio, en el manual SIRE-CONABIO-PRONARE (2007) se sugiere un riego por mes, de febrero a mayo, con una lámina de riego 10 cm y un riego de post-cosecha con una lámina 15 cm en agosto. Meza (2013) recomiendan aplicar una lámina de riego de 6.0 cm cada 60 a 90 días bajo riego por gravedad y bajo riego por goteo cada 30 a 45 días con una duración de 6 a 8 horas de riego.

Aunque se sabe que la jjoba es una planta tolerante a la sequía, que presenta menor demanda de agua con respecto a los cultivos perennes convencionales., es necesario proporcionarle agua en cantidad y frecuencia apropiada para que se desarrolle y alcance su máxima productividad. Pues la finalidad, en este caso, es cultivar la especie. En este sentido, otros autores como Román *et al.*, (2009) señala que la planta de jjoba debe recibir al menos 300 a 350 mm de agua al año para generar una producción aceptable. También, Hasrh (1987) menciona que la planta debe recibir una lámina de agua de 450 a 650 mm al año para obtener una producción comercial aceptable. Ayerza (1993) señala que la mayor eficiencia en el uso del agua se obtiene con una lámina total anual de 600 mm.

Por lo tanto, este requerimiento hídrico anual de agua, de alrededor de 650 mm, determinado en este trabajo para la jjoba es aceptable. Además, es similar con el requerimiento hídrico del Olivo (*Olea europaea* L.), otro cultivo de importancia económica en zonas áridas, que demanda entre 600 a 800 mm de agua al año (INIA, 2000).

Como información adicional, se ha estimado un incremento en la producción de semilla en un 35% y un 10% en la calidad morfológica (grosor, altura y peso de semilla) de plantas de jjoba cultivadas en la huerta experimental, comparado con la producción colectada de las poblaciones silvestres más prominentes. En este sentido, Ayerza (1993) menciona que la producción de semilla de jjoba incrementa significativamente con láminas de alrededor de 900 mm de agua aplicada y distribuida de manera mensual.

Conclusiones

Se determinó una lámina de riego anual de 660 mm para la jjoba bajo las condiciones climáticas y las características edáficas e hidráulicas del sitio experimental, en la Costa de Hermosillo.

La lámina de riego determinada representa el 78 % de la ET_c -aj, el 60 % de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y el 38 % de la evapotranspiración potencial (ET_o) anual, para las condiciones climáticas del sitio experimental.

La jjoba debe recibir riegos mensuales en los meses de febrero a abril y agosto a octubre, de mayo a julio los riegos pueden aplicarse cada 20 días. Entre los meses de noviembre a enero se recomiendan dos riegos con un intervalo de 45 a 50 días.



Bajo el concepto integrado, abordado en este an3lisis, es posible determinar las necesidades reales de agua para los cultivos, la l3mina y el momento oportuno del riego. Lo que permitir3 hacer un uso eficiente del agua, sin mayor impacto en los rendimientos., toda vez que las restricciones en las dotaciones de este recurso son cada vez mayores.

Referencias Bibliogr3ficas

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Ash, G.J., A. Albiston and E.J. Cother. (2005). Aspects of Jojoba Agronomy and Management. Agriculture Orange Agricultural Institute Orange NSW 2800, Australia.
- Ayerza, R. (1993). Effect of irrigation on jojoba production under Arid Chaco conditions: II - Seed yields and wax quality: JAOCS J AM OIL CHEM SOC, vol. 70, no. 12, pp. 1225-1228.
- El-Bassam, N. (2010). Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications. Earthscan Ltd, London, UK.
- Hasrh, L. N., J.C. Tewari., Dalip Singh Patwal and G.L. Meena. (1987). Package of practices for cultivation of Jojoba (*Simmondsia chinensis*) in Arid Zone. Central Arid Zone Research Institute. Jodhpur, India.
- Hasrh, L. N., J.C. Tewari., M.D. Borha and D. Tripathi. (2001). Standardization of Agronomic Practices of Jojoba Cultivation in Arid Regions. Proceeding In: National Seminar on Production, Marketing and Processing of Jojoba. Jaipur India.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile). (2000). La producci3n de frutales de hoja persistente.
- Khan, S., S. Agarwal and V. Sharma. (2017). Biochemical and molecular studies on the commercial oil-yielding desert shrub *Simmondsia chinensis* (Jojoba, a desert gold). Chapter 8 in Oilseed Crops: Yield and Adaptations under Environmental Stress, First Edition. Edited by Parvaiz Ahmad.
- Meza S. R. (2013). Rehabilitaci3n de plantaciones de jojoba. Instituto Nacional de Investigaci3n Forestal, Agr3cola y Pecuaria. Campo Experimental Todos Santos. La Paz, B.C. M3xico.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carb3, M., Gul3as, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geogr3ficas 43: 63-84.



Ortiz y Muñoz J. (1979). Requerimiento anual de Agua, Jojoba en Sonora, Circular CIANO #108, INIA – SARH. Hermosillo, Sonora. pp. 11

Ovalle, B. M. (2012). Estimación de la huella hídrica de cultivos con potencial bioenergético en la provincia de Limarí, región de Coquimbo, Chile. Memoria de título de pregrado. Universidad de Chile.

Román, C., K. Vásquez, R. Valenzuela, G. Martínez, G. Lillo, L. Morales, R. Fuster, A. dela Fuente, J.M. Uribe, L.O. Faúndez y M. Paneque. (2009). Cultivos energéticos: una apuesta de futuro. M. Paneque (ed.). Santiago, Chile.

SIRE-CONABIO-PRONARE (Sistema de Información para la Reforestación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Programa Nacional de Reforestación). (2007). Paquetes Tecnológicos: *Simmondsia chinensis*. México. 7 p.