

Determinación de las Líneas de Referencia para la Programación del Riego en Base a Dendrometría para el Cultivo de Nogal Pecanero (*Carya illinoensis* (Wangehn.) K. Koch).

Munguía-López, J.P.^{1*}; Avendaño-Abarca, V.H.²; Baylón-Palomino, A.³; Díaz-Leyva, E.O.⁴; González-Sandoval, D.C.⁵

¹Centro de Investigación en Química Aplicada 1. Saltillo, Coahuila. México.

²Estudiante del programa de maestría en Ciencias en la Agroplasticultura del Centro de Investigación en Química Aplicada 2. Saltillo, Coahuila. México

³Centro de Investigación en Química Aplicada 3. Saltillo, Coahuila. México

⁴Estudiante del programa de maestría en Ciencias en la Agroplasticultura del Centro de Investigación en Química Aplicada 4. Saltillo, Coahuila. México

⁵Estudiante del programa de maestría en Ciencias en la Agroplasticultura del Centro de Investigación en Química Aplicada 4. Saltillo, Coahuila. México

*Autor de contacto: juan.munguia@ciqa.edu.mx; Enrique Reyna Hermosillo Núm. 140, Col. San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila. México. CP 25294; Tel. +52 (844) 438-9830

RESUMEN

Se determinaron las líneas de referencias en base a la máxima contracción diaria de tallo (MCD) para el cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangehn.) K. Koch), elemento esencial para la obtención de valores de intensidad de señal (IS) que representa el valor normalizado de este parámetro. El estudio se llevó a cabo en el rancho Tres Marías, Zaragoza, Coahuila en el periodo Mayo-Noviembre del 2014. Los valores de MCD mostraron una tendencia de disminución al paso del tiempo, presentando un valor máximo de 0.59, 0.51 y 0.48mm y mínimo de 0.03, 0.02 y 0.04mm, representando un descenso de 94.91, 96.07 y 91.66% en los valores para los tratamientos Testigo, Sobre-irrigado y Sub-irrigado respectivamente, esto posiblemente por la disminución de la demanda evapotranspirativa de la atmosfera. La relación que mostro la MCD con respecto a las diferentes variables climáticas varió conforme a las etapas fenológicas del cultivo, siendo las más representativas para la etapa de desarrollo de fruto T_{max} y T_{med} con valores de $r^2=0.76^{**}$ y 0.77^{**} , para la etapa de estado acuoso HR con valor de $r^2=0.35^{**}$, para la etapa de endurecimiento de cáscara DPV con valor de $r^2=0.66^{**}$ y para la etapa de maduración de fruto la ET_0 con valor de $r^2=0.88^{**}$.

PALABRAS CLAVE

Dendrometría; máxima contracción diaria; líneas de referencia.

INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero es un frutal de gran importancia económica a nivel mundial. En México se tienen establecidas 102,421ha en condiciones de riego (SAGARPA-SIACON, 2013), con zonas de mayor producción ubicadas en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León (Godoy-Ávila y López-Montoya, 2000), representando el 95.27% del total de la producción nacional de nuez (SAGARPA-SIACON, 2013).

Debido a la importancia comercial del nogal pecanero para el estado de Coahuila, su alto consumo hídrico, así como la calidad pobre y baja disponibilidad del agua de riego en las regiones de mayor

producción, es evidente la necesidad de determinar la demanda hídrica de este cultivo (Wang *et al.*, 2007), aunque esta necesidad no es reciente, los métodos de estimarla son cada vez más eficientes mejorando la toma de decisiones.

Los métodos que más interés han tomado en los últimos años son los basados en el estado hídrico de la planta dado que el estado hídrico de la planta es el resultado de la disponibilidad de agua del suelo y la demanda evapotranspirativa. Uno de estos métodos se basa partir de mediciones de las fluctuaciones de diámetro de tallo (FDT) que han demostrado ser sensible a los cambios en el suministro de agua. Uno de los parámetros derivados de las FDT más comúnmente utilizado es la MCD que ha manifestado ser adecuado para el desarrollo de la programación de riego en árboles frutales. Pero su aplicación para la programación de riegos involucra la necesidad de experimentos previos para conocer los valores de referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en la huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangehn.) K. Koch) del rancho Tres Marías ubicado en el municipio de Zaragoza, Coahuila con coordenadas geográficas 28° 28' 31" de latitud N, 100° 55' 10" de longitud O, a una elevación de 360 msnm, con características climáticas de temperatura mínima de 1°C y máxima de 36.21°C, humedad relativa de 62.53% y precipitación de 471.4 mm (61.5% en los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre).

Se utilizaron árboles de nogal pecanero variedad Wichita, nogales irrigados con un sistema de aspersión con una altura promedio de 12m, marco real de plantación de 15mx15m y edad de 35 años. Se establecieron 3 tratamientos de riego: 75% ET_o (Sub-irrigado), 100% ET_o (Testigo) y 125% ET_o (Sobre-irrigado), instalando en cada uno de ellos un dendrómetro LVDT en el tronco del árbol a una altura de 1.20m y 2 TDRs colocados en el suelo a profundidades de 0-30 y 30-60cm; comprendiendo un estrato total de suelo de 0-60cm. En el tratamiento Testigo se instaló además un pluviómetro para monitoreo de lámina de riego. Todos estos conectados a un Datalogger para el almacenamiento de datos.

Se evaluaron: potencial hídrico, contenido volumétrico de agua en el suelo, parámetros basados en fluctuaciones de diámetro de tallo y datos climáticos.

Evolución del potencial hídrico de planta (Ψ_{xilema})

Se midió con una cámara de presión Scholander modelo 3115 portable marca SoilMoisture Equipment Corp. California USA en cada uno de los tratamientos, estas mediciones se tomaron en 5 orientaciones del lado Sur de la copa del árbol, en hojas sanas, bien desarrolladas y con tiempo de estabilización (hojas cubiertas con bolsa de plástico y aluminio para evitar la transpiración) de 30 minutos (Ferreyra, 2007) a una altura aproximada de 3.5m del suelo.

Contenido volumétrico de agua en suelo (θ_v)

El comportamiento del contenido de humedad en el suelo se evaluó con el método del reflectometría en dominio de tiempo (TDR). Se colocaron dos TDRs modelo CS615 marca Campbell SCI, Logan Utah, USA por cada tratamiento en el perfil del suelo para analizar el frente de mojado colocados a intervalos de profundidad de 0-30 y 30-60cm, esto debido a que estudios realizados por Vásquez (2013) el 80% de la extracción de agua en este cultivo se lleva a cabo en el estrato 0-60cm. La frecuencia de muestreo y almacenamiento de datos se realizó en periodos de 30 minutos mediante un Datalogger modelo CR1000 marca Campbell SCI, Logan Utah, USA.

Máxima contracción diaria de tallo (MCD)

Para la medición de las variaciones micrométricas del diámetro de tallo se utilizaron dendrómetros LVDT modelo DF 2.5 marca Solartron Metrology, Bognor Regis UK, montados en porta

sensores construidos con Invar (aleación de 35% Ni y 64% Fe, con un coeficiente de dilatación térmico cercano a cero (Katerji *et al.*, 1994) y aluminio Modelo R-150, Requena Co.) en cada uno de los tres tratamientos. Las lecturas fueron tomadas con una frecuencia de 10 segundos y promediadas cada 30 minutos para después ser almacenados en un Datalogger modelo CR1000 marca Campbell SCI, Logan Utah, USA.

Variables climáticas: evapotranspiración de referencia FAO-Penman-Monteith (ET_0), precipitación, temperatura media (T_{med}), mínima (T_{min}) y máxima (T_{max}), déficit de presión de vapor (DPV), humedad relativa (HR) y radiación global promedio (RG)

Las variables climáticas se obtuvieron de la estación meteorológica CAMPO EXPERIMENTAL ZARAGOZA ubicada en el municipio de Zaragoza, Coahuila con coordenadas: latitud $28^{\circ} 35' 56''$ y longitud $100^{\circ} 54' 43.8''$ (INIFAP 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido volumétrico de agua en suelo (Θ_v)

Las condiciones de humedad del suelo en base a volumen así como su evolución a través del tiempo de evaluación se presentan en la Figura 1, en ella se observó que las frecuencias de riego fueron de 7 a 10 días esto dependiendo de las condiciones ambientales predominantes, teniendo el registro de 15 riegos en el periodo comprendido del día 144 al 309 (día juliano). Las diferencias en los contenidos de humedad entre los tres tratamientos se mantuvieron hasta el final del experimento. En la Figura 1 se pueden observar similitudes en el Θ_v en los días 172, 192, 217, 222, 252 entre los tratamientos Testigo y Sub-irrigado y en algunos puntos al Sobre-irrigado, a causa de aportaciones hídricas por precipitaciones que estuvieron alrededor de los 16.6 hasta 65.5mm.

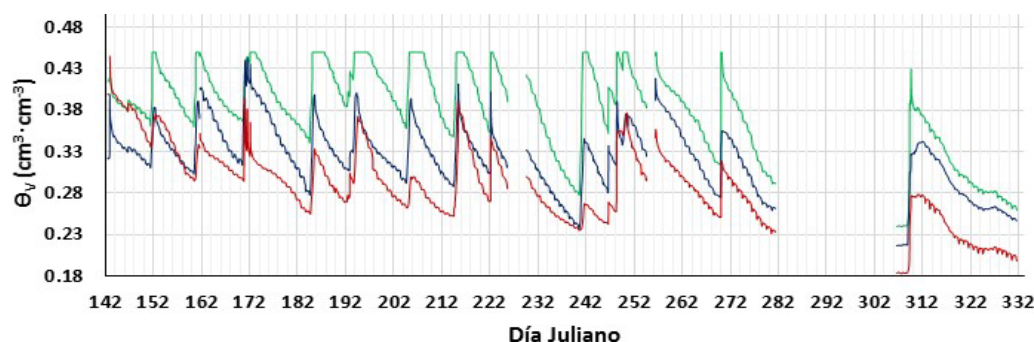


Figura 1. Evolución del contenido de humedad en base a volumen ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) para el estrato 0-60cm para los tratamientos Testigo (—), Sobre-irrigado (—) y Sub-irrigado (—) de la localidad rancho Tres Marías, Zaragoza, Coahuila, durante el periodo de evaluación comprendido entre los días 142 a 331 (días julianos) del año 2014.

Evolución del potencial hídrico de tallo (Ψ_{xilema}) y fluctuaciones de diámetro de tallo (FDT)

La evolución diaria del Ψ_{xilema} , se realizó en el día 203 (día juliano), en ella se observó que el Ψ_{xilema} en el tratamiento Sub-irrigado fue ligeramente más negativo a los valores de Testigo y Sobre irrigado. Es importante señalar que las diferencias entre los tratamientos fueron poco notorias por las buenas condiciones de humedad del suelo en los tres tratamientos. El Ψ_{xilema} presentó un comportamiento similar independientemente del tratamiento de riego (Figura 2), que es típico de la mayoría de las plantas cultivadas (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2007). Se pudieron observar valores mínimos de Ψ_{xilema} de -1.45, -1.3 y de -1.1MPa para los tratamientos Sub-irrigado, Sobre-irrigado y Testigo

respectivamente. Para el caso de la evolución de FDT el descenso en sus valores se presenta a partir de las 9:00am cuando las condiciones climáticas empiezan a presentar un aumento en sus valores y por consiguiente el incremento de la demanda evapotranspirativa de la atmosfera, con valores máximos de contracción de 0.19, 0.17 y 0.14 mm para los tratamientos Sub-irrigado, Testigo y Sobre-irrigado respectivamente (Figura 2).

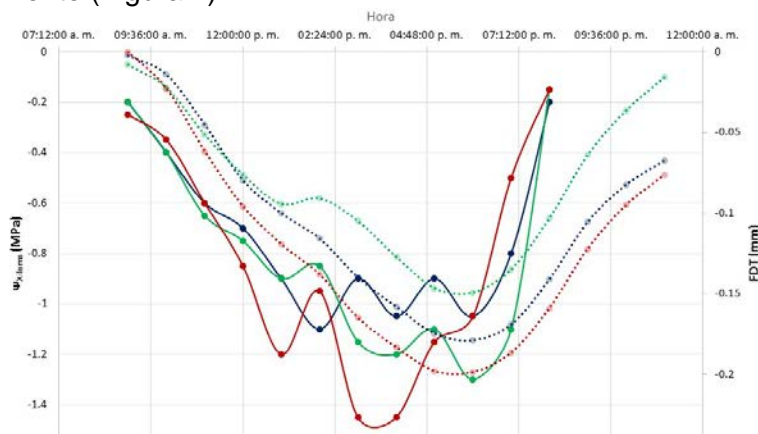


Figura 2. Evolución diaria del Ψ_{xilema} (líneas continuas) y FDT (líneas discontinuas), de los tratamientos Testigo (— y ●●●), Sobre-irrigado (— y ●●●) y Sub-irrigado (— y ●●●) de la localidad rancho Tres Marías, Zaragoza, Coahuila correspondiente al día 203 (día juliano) del año 2014.

1. Máxima contracción diaria (MCD)

Los valores de MCD mostraron fluctuaciones durante todo el período experimental con diferentes magnitudes entre los tres tratamientos de riego (Figura 3).

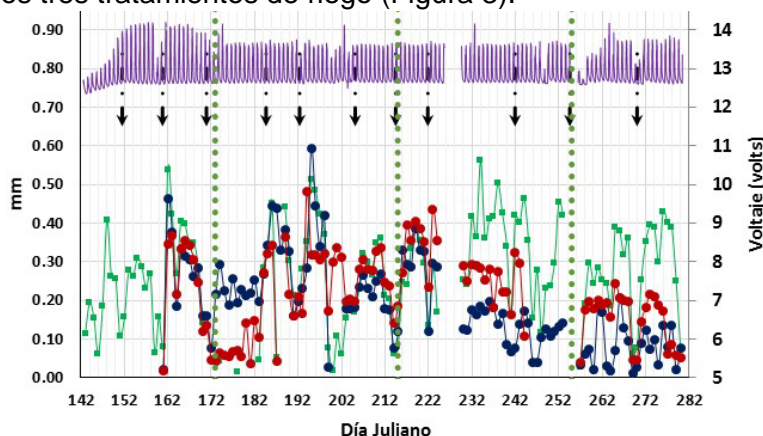


Figura 3. Comportamiento de la máxima contracción diaria (mm) de los tratamientos Testigo (—●), Sobre-irrigado (—●) y Sub-irrigado (—●) de la localidad rancho Tres Marías, Zaragoza, Coahuila, con ilustración de aplicaciones de riego (—*—) y etapas fenológicas (* * *) durante el periodo experimental comprendido entre los días 142 a 282 (días julianos) del año 2014 e ilustración de voltaje de batería (—●).

Cuando se irrigaron las plantas, los valores de MCD cayeron y se mantuvieron de 2 a 3 días después del riego con valores muy parecidos. Para el tratamiento Sub-irrigado se observó un aumento en los valores de MCD a partir del día juliano 142 a 242 presentando un máximo valor de 0.48 mm y menor de 0.14mm. Después de esta etapa los valores de MCD presentaron una tendencia de disminución a través del tiempo pero no tan marcado como el caso del tratamiento Testigo. Este último presentó un máximo valor de 0.59mm y un mínimo de 0.03mm y con la misma tendencia de disminución en sus valores pasada la temporada de mayor demanda evapotranspirativa, para el caso del tratamiento

Sobre-irrigado se registraron valores máximos de 0.51mm y mínimo de 0.02mm teniendo variaciones más pronunciadas y presentando un comportamiento diferente a los demás tratamientos, esto posiblemente por el factor de la carga frutal.

Líneas de referencia

Las FDT, y para el caso de la MCD, aparte de ser un indicador de referencia ha pasado a establecer criterios para la programación del riego basados en el estado hídrico de la planta, debido a la estrecha relación que existe entre este indicador y la demanda climática, diversos autores han manifestado la necesidad de normalizar los valores absolutos obtenidos a partir de árboles bien regados con respecto a distintas variables climáticas (Ferreeres y Goldhamer, 2003). La normalización de estos valores se basa en que los valores de MCD de árboles bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo, reflejan los efectos de la demanda climática en las contracciones del tronco; de tal manera que si se relaciona los valores de MCD, con distintas variables meteorológicas se obtienen las denominadas líneas de referencia.

Se han obtenido líneas de referencia entre la MCD y distintas variables climáticas para los tratamientos Testigo y Sobre-irrigado, así como para cada etapa fenológica (Cuadro 1), cada una de ellas con diferentes coeficientes de determinación.

Para este estudio las variables climáticas mejor predictoras de MCD fueron T_{med} , T_{max} , DPV, Radiación y HR para el tratamiento Testigo y ET_o , T_{med} , T_{max} , DPV, radiación global y HR para el tratamiento Sobre-irrigado.

Cuadro 3. Líneas de referencia para el cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) por etapa fenológica obtenidas durante el periodo experimental comprendido entre los días 142 a 282 (días julianos) del año 2014 en la localidad rancho Tres Marías, Zaragoza, Coahuila.

Etapa fenológica	Variable climática	Sobre-irrigado			Testigo			
		a	b	r ²	Variable climática	a	b	r ²
Desarrollo de fruto	T_{max}	-0.708	0.03	0.765**	T_{max}	0.617	0.026	0.769**
	T_{med}	-0.987	0.046	0.771**	T_{med}	-0.794	0.037	0.672**
	HR	0.804	-0.007	0.783**	HR	0.656	-0.006	0.704**
	DPV	0.095	0.152	0.768**	DPV	0.089	0.123	0.705**
Estado acuoso	HR	0.737	-0.008	0.358**	T_{max}	-0.409	0.019	0.137*
	DPV	0.026	0.139	0.322*	HR	0.525	-0.004	0.131*
	Radiación	-0.128	0.0008	0.315*	Radiación	-0.005	0.0005	0.125*
	ET_o	-0.043	0.054	0.327*				
Endurecimiento de cáscara	T_{med}	-1.045	0.045	0.572**	T_{min}	0.772	-0.025	0.215*
	HR	0.851	-0.008	0.650**				
	DPV	0.053	0.164	0.660**				
	ET_o	-0.023	0.062	0.568**				
Maduración de fruto	HR	1.024	-0.01	0.710**	--	--	--	--
	DPV	0.029	0.32	0.707**				
	Radiación	-0.112	0.0009	0.871**				
	ET_o	-0.059	0.091	0.880**				

Coefficiente de determinación seguidos de un * y ** representan significancia y alta significancia.

Se puede observar que para cada etapa fenológica el comportamiento en la MCD y los diferentes parámetros que ofrece el estudio de las FDT son variables, por lo que para un mejor ajuste y precisión las líneas de referencia se deben obtener en base a la fenología del cultivo, concordando con Intrigliolo y Castel (2006) que en ciruelo obtuvieron tres líneas de referencia, una para toda la temporada y dos más para las fases de crecimiento de fruta y poscosecha, en ellas observaron que además de obtener una diferencia en el comportamiento de la MCD en cada etapa fenológica, el

componente climático de las líneas de referencia son diferentes y con mayor grado de asociación con la MCD.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demostraron que es posible la elaboración de líneas de referencia en base a la MCD con respecto de las variables climáticas en el cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch), obteniendo mejores resultados considerando cada una de las etapas fenológicas por separado, ya que el comportamiento y magnitud de la MCD es variable a través del tiempo y del estadio del cultivo, evitando la consideración conjunta de todo el ciclo de producción y de esta manera reducir el error en la predicción de esta variable.

Bibliografía

- Egea, G., E. Pagán, A. Baille, R. Domingo, P.A. Nortes y A. Pérez-Pastor. 2009. Usefulness of establishing trunk diameter based reference lines for irrigation scheduling in almond trees. *Irrigation Science*. 27: 431–441.
- Fereres, E. y D.A. Goldhamer. 2003. Suitability of stem diameter variations and water potential as indicators for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 78: 139–144
- Ferreira, R., G. Selles, P. Maldonado, C. Celedón de A. y P. Gil. 2007. Efecto del clima, de las características de la hoja y de la metodología de medición en el potencial hídrico xilemático en palto (*Persea Americana* Mill.). *Chilean Journal of Agricultural Research* 67(2): 182–188.
- Godoy-Ávila, C., I. López-Montoya. 2000. Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego. *TERRA Latinoamericana*, p. 205-311.
- Intrigliolo, D.S. y J.R. Castel. 2006. Usefulness of diurnal trunk shrinkage as a water stress indicator in plum trees. *Journal Tree Physiol*. 26: 303–311.
- Katerji, N., F. A. Daudet, A. Carbonneau y N. Ollat. 1994. Etude a l'echelle de la plante entiere du fonctionnement hydrique et photosynthetic de la vigne: Comparaison des systemes de conduite traditionnel et en Lyre. *Journal Vitis*. 33: 197–203.
- Ruiz-Sánchez M.C., R. Domingo, E. Pérez-Pastor. 2007. Daily variations in water relations of apricot trees under different irrigation regimes. *Journal Biologia Plantarum* 51: 735–740.
- SAGARPA-SIACON (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Sistema de Información Agroalimentario de Consulta). 2013. Informe de estadísticas diciembre de 2013. México.
- Vasquez, J. C. (2013). Tasa diaria de evapotranspiración de una huerta de nogal pecanero con mediciones de la humedad del suelo. Tesis de licenciatura. México. Departamento de riego y drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Wang, J., T. W. Sammis, A. A. Andales, L. J. Simmons, V. P. Gutschick, y D. R. Miller. 2007. Crop coefficients of open-canopy pecan orchards. *Journal Agricultural Water Management*. 88(1- 3): 253–262.