

ESTUDIOS ECOFISIOLÓGICOS EN NOGAL PECANERO

Ana M. Rodríguez-Hernández¹, Marco A. Arellano-García¹, Fernando Broetto², Marco A. Castillo-Campohernoso^{1a}

¹Centro de Investigación de Química Aplicada, Blvd. Enrique Reyna Herosillo # 140, colonia San José de los Cerritos, C.P. 25294, Saltillo, Coahuila, México.

²Instituto de Biociencias, UNESP, SP 18618-000, Facultad de Agronomía, UTFPR, Pato Branco, PR 85503-390, Botucatu, Brasil.

^{1a} Autor para correspondencia: marco.castillo@ciqa.edu.mx

RESUMEN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*), tiene sus orígenes en el Norte de México y el sur de EUA, siendo los 2 principales países productores de nuez pecanero al aportar el 95 % de la producción mundial, (SAGARPA-SIAP, 2014). A pesar de esto, en México se tiene muy poca información sobre el cultivo respecto a su fisiología y parámetros hídricos, los cuales son de gran importancia en el cultivo para expresar el correcto potencial de producción, por lo que en el presente trabajo se midieron la tasa fotosintética, conductancia estomática, potencial hídrico además de la densidad estomática en tres variedades de nogal (Western, Cheyenne y Wichita) evaluadas en un cultivo comercial en tres fases fenológicas: Desarrollo vegetativo, Desarrollo de fruto y Desarrollo de almendra.

Con el mismo sistema de riego y prácticas agronómicas: Western tiene una mejor eficiencia productiva que las otras dos variedades debido a que con una menor densidad estomática (389 estomas por mm²) mantiene un intercambio gaseoso de (0.22 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ de g_s y 46 μmol. de CO₂ m² s⁻¹ de P_n). Este efecto de reducir pérdidas de agua y al mismo tiempo mantener una tasa fotosintética alta está directamente relacionado a reducciones de los potenciales hídricos en hoja y tallo presentados por esta variedad. Además Western presentó el mayor rendimiento de cosecha con 1.39 ton/ha., seguido por Wichita con 0.95 ton/ha. y finalmente Cheyenne con 0.54 ton/ha.

Palabras Clave: *Carya illinoensis*, fotosíntesis, conductancia estomática.

INTRODUCCION

El conocimiento de la fenología del nogal pecanero es básico para la planeación y ejecución de actividades técnicas en el cultivo, Godoy *et al.*, (2000) mencionan que el nogal presenta ocho estados o etapas fenológicas las cuales son: Desarrollo de brote, Polinización, Desarrollo de fruto, Crecimiento de fruto, Endurecimiento de la cascara, Desarrollo de la almendra, Maduración de fruto y Caída de las hojas, para este trabajo se realizaron las evaluaciones de las variables fisiológicas e hídricas en las etapas: Desarrollo vegetativo, Desarrollo de fruto y Desarrollo de almendra, (figura 1) esto fue debido a que en estas etapas es cuando las hojas están completamente desarrolladas y por tanto existe una mayor tasa fotosintética y mayor demanda de agua de acuerdo a Arreola *et al.*, (2010), los cuales son parámetros centrales para el desarrollo del trabajo. Por todo lo anterior el objetivo de este trabajo se centró en correlacionar parámetros fisiológicos, hídricos y de producción en tres variedades de nogal pecanero.

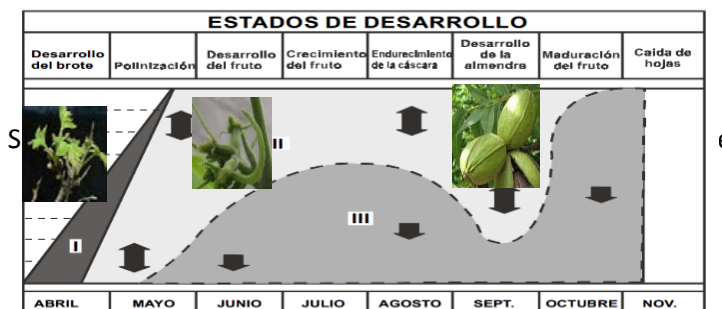




Figura 1. Fases fenológicas del nogal pecanero y la movilización de los carbohidratos de acuerdo a cada etapa.

MATERIALES Y METODOS

Condiciones experimentales:

El presente estudio se realizó en la huerta "San Ildefonso" con una ubicación en las siguientes coordenadas 100° 55' 22.25" W y 28° 27' 29.95" N, y una elevación de 374 msnm; en el Municipio de Zaragoza, Coahuila.

La evaluación se llevó a cabo en arboles de 20 años de edad, con marco de plantación real de 12 por 12 m., con una densidad de 70 árboles por ha. El sistema de riego que tenía la huerta, era micro aspersión con un gasto por aspersor de 330 lts/h. Éste tuvo una frecuencia de 24 a 28 riegos durante el ciclo anual del cultivo (dependiendo de las precipitaciones). La huerta está dividida en 39 sectores de riego y cada sector riega aproximadamente 1.6 hectáreas.

Las evaluaciones del ensayo se realizaron en el sector 12, el cual se encontraba en la parte media de la huerta, este sector está dividido en líneas de riego, para este trabajo se seleccionaron tres líneas (inicial media y final) abarcando un área aproximada de 6000 m². Cada línea tiene un total de 14 árboles, para este trabajo se seleccionaron al azar tres árboles por variedad/por línea seleccionada para la realización de las diferentes medidas, los árboles fueron marcados con los colores azul, naranja y gris para las variedades Cheyenne, Western y Wichita respectivamente. Todas las evaluaciones se realizaron en las tres fases fenológicas: *desarrollo vegetativo*, *desarrollo de fruto* y *desarrollo de almendra*. Las variables a medir fueron las siguientes:

La Densidad estomática (DS) se determinó tomando muestras de hojas de la parte media del árbol; dichas muestras de cada una de las variedades evaluadas se fijaron en un soporte de aluminio (PIN) las cuales se recubrieron con plata utilizando un cobertor iónico de acuerdo a Fariña (2003). La DS se obtuvo mediante imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido de la marca QUANTA 200 3D de FEI a una resolución de 1000X.

La medición del intercambio gaseoso (fotosíntesis [P_n] y conductancia estomática [g_s]) se realizó con el equipo Analizador Infrarrojo de Gases (IRGA) Mod. LI-6400 XP de la marca Li-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, USA. Con unas condiciones de 400 ppm de CO₂ y flujo de aire de 400 mmol s⁻¹. Las evaluaciones se realizaron en el primer tercio del árbol y en el tercer foliolo de cada hoja de acuerdo a Ferreyra *et al.*, (2002).

El potencial hídrico (Ψ_h) del nogal, se determinó usando una cámara de presión (Sholander *et al.*, 1965). Mediante esta técnica se determinó el potencial hídrico de tallo y hoja para ello se seleccionaron hojas sin daño de plagas, enfermedades o deficiencias nutricionales en el tercio medio de la planta de acuerdo a Ferreyra *et al.*, (2002). Para la medición del Ψ_h de tallo se cubrieron con papel aluminio al menos media hora antes de la medición, lo que permite observar el comportamiento hídrico en el suelo y conocer con mayor exactitud el nivel de estrés que tiene la planta. Estas mediciones fueron puntuales entre las 13 y 14 horas (horas donde se presentó una mayor demanda evapotranspirativa) Además se realizó una evolución diaria de Ψ_h de hoja para conocer el comportamiento hídrico desde antes de la salida del sol hasta el anochecer.

Rendimiento y calidades se estimaron mediante la cosecha de seis árboles por variedad localizados en el primer, segundo y tercer tercio de las tres filas de 14 árboles en el sector de riego donde se llevaron a cabo las evaluaciones de P_n , g_s , DS y Ψ_h a partir de los cuales se obtuvieron los rendimientos por árbol y se extrapolo a una ha. También se obtuvieron los % de las diferentes calidades de los frutos por variedad de acuerdo al mercado.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la figura 2A se puede observar que la densidad estomática (DS) en las tres etapas fenológicas analizadas fue menor en la variedad Western (389 estomas por mm^2) comparada con Wichita y Cheyenne; una reducción de la densidad estomática es debido principalmente a estrés hídrico, condiciones ambientales, latitud (Verdugo *et al.*, 1999 y Salas *et al.*, 2001), el nivel de ploidia y heterosis (Costa *et al.*, 2004). Sun *et al.*, (2014) mencionan que a mayor DS se incrementa el intercambio gaseoso (P_n y g_s), lo anterior no concuerda con los resultados obtenidos en este ensayo debido a que en las etapas fenológicas *Desarrollo vegetativo* y *Desarrollo de fruto*, Western a pesar de tener menor DS mantiene una conductancia estomática similar a Wichita y Cheyenne con $0.24 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de g_s y $47 \text{ } \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de P_n (Figura 2B y 2C). Esto posiblemente debido a que los estomas son hereditarios y el nivel de ploidia del nogal es tetraploide (Grauke y Mendoza 2012) lo que de acuerdo a Arrieta *et al.*, (2010), tiende a disminuir la densidad estomática, pero al mismo tiempo incrementa el tamaño, lo que justifica que mantenga la misma P_n y g_s . Por otra parte Escalante *et al.*, en (2008), obtuvieron resultados similares en *Zea mays*, *Capsicum annum*, *Nicotiana tabacum*, *Setaria adherens* y *Amaranthus hybridus*. Durante la etapa fenológica *Desarrollo de la almendra* en las tres variedades se redujo la P_n y g_s posiblemente esto se debió a que en esta etapa fenológica ya no se producen hojas nuevas y las existentes inician su senescencia disminuyendo el intercambio gaseoso de acuerdo a Eddine, H. (2014).

En la figura 3B el valor más negativo de potencial hídrico de hoja se observó en la etapa fenológica *Desarrollo de la almendra* en las tres variedades. No así para el Ψ_h tallo donde no se observan diferencias significativas, y los valores son prácticamente similares durante las tres etapas fenológicas: *desarrollo vegetativo*, *desarrollo de fruto* y *desarrollo de la almendra* (figura 3 A). De acuerdo a los valores de potenciales hídricos de tallo obtenidos para las tres variedades durante las etapas fenológicas evaluadas se ubicaron entre valores de -0.56 y -0.70 MPa. Para Ψ_h de hoja se obtuvieron resultados entre -1.05 a -1.75 MPa. De acuerdo a De la Rosa *et al.*, (2010), Pagán (2012) y Godoy *et al.*, (2005), estos valores indican que los árboles de nogal se encuentran sin estrés hídrico ya que mencionan que en árboles con riego diario muestran potenciales de tallo de entre -0.04 a -1 MPa, y los potenciales hídricos de hoja más negativos bajo estas mismas condiciones son de -1.80 MPa. Mencionar también que Godoy *et al.*, (2005) señalan que los valores de potenciales hídricos más negativos se obtienen debido a intervalos largos sin riego y es atribuible a que se va reduciendo la humedad residual del suelo el cual se recupera una vez que se aplica un riego.

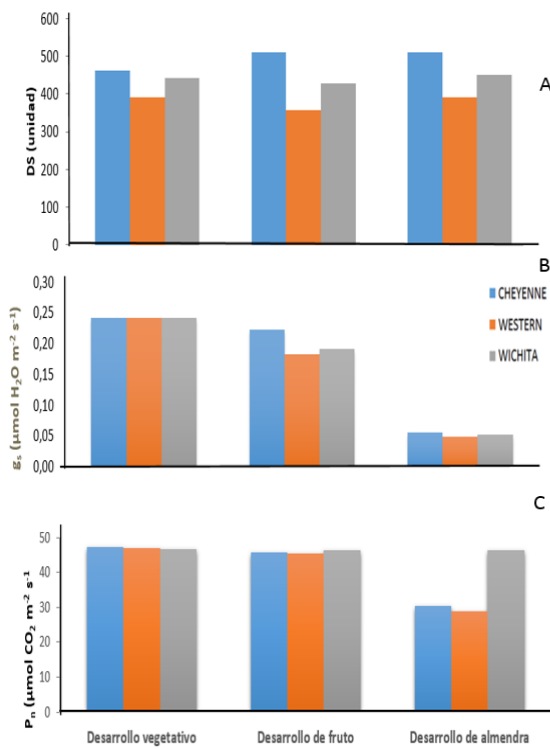


Figura 2. A) Densidad estomática, B) conductancia estomática, C) tasa fotosintética de tres variedades de nogal pecanero en las etapas fenológicas: desarrollo vegetativo, de fruto y almendra.

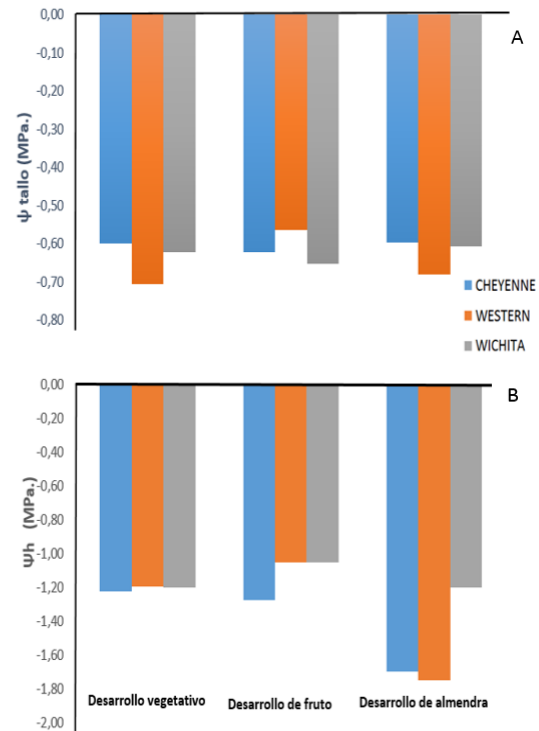


Figura 3. A) Potencial hídrico de tallo y B) potencial hídrico de hoja de tres variedades de nogal pecanero, en las etapas fenológicas: desarrollo vegetativo, de fruto y almendra.

Se realizó una evolución diaria donde se midió el potencial hídrico de hoja (Ψ_h) cada dos horas. En la figura 4 se observa que de siete a nueve de la mañana el Ψ_h es similar en las tres variedades de nogal sin embargo, a partir de las 11 del día se observan diferencias entre las tres variedades. Entre 3 y 5 pm (horas de máxima demanda evapotraspirativa), Cheyenne alcanza los potenciales hídricos más altos con -2.0 MPa, mientras que Wichita y Western obtienen potenciales de -1.6 y -1.7 MPa. respectivamente. Resultados similares obtuvieron Godoy *et al.*, en (2005), al obtener valores de -1.5 a -2 MPa en horas de mayor demanda evapotraspirativa en nogal.

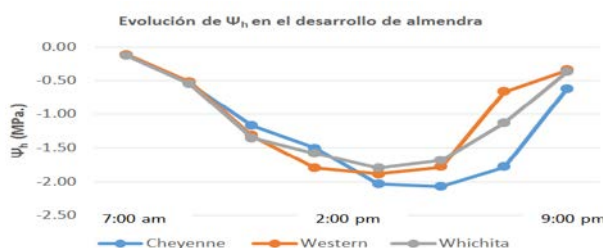


Figura 4. Evolución de Ψ_h de las variedades Cheyenne Western y Wichita

Para los resultados de rendimiento, en el cuadro 1 se puede observar que la variedad Western obtiene el mayor rendimiento respecto a las otras variedades con 1.39 ton/ha, del cual el 88.7% corresponde a nuez de primera un 10.2% nuez de segunda y un 1.1% como nuez de tercera (clasificaciones de mercado). Western obtuvo el máximo rendimiento debido a que es un árbol vigoroso, altamente productivo y de producción precoz adaptado a las condiciones climáticas, condiciones de suelos y prácticas agronómicas a las que son sometidas donde se realizaron las evaluaciones de acuerdo a Núñez (2001) y Orona *et al.*, (2006). Tomando como referencia el 100 % el rendimiento de Western, Wichita obtuvo un 69 % y Cheyenne un 39.5 % posiblemente debido a que estas últimas son variedades que se utilizan como polinizadores y no para producción (Arreola *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Rendimiento de nuez pecan, calidad de nuez en porcentaje, en base al rendimiento obtenido y nueces nacidas

Variedad	Ton/ha	Rend./árbol	% de calidades de nuez			Nueces nacidas
			Primera	Segunda	Tercera	
Western	1.39	19.2	88.7	10.2	1.1	1/árbol
Wichita	0.96	13.5	91.3	8.7	0.0	-
Cheyenne	0.55	5.2	94.6	5.4	0.0	0.0

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que la variedad Western es la que presenta una mejor adaptación a las condiciones climáticas, de suelos y prácticas agronómicas del lugar ya que con esta variedad se obtuvieron los más altos rendimientos por ha comparada con Wichita y Cheyenne, Western tiene una mejor eficiencia productiva debido a que con una menor densidad estomática mantiene un intercambio gaseoso de ($0.22 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de g_s y $46 \text{ } \mu\text{mol. de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de P_n) pero con el mayor rendimiento con 1.39 ton/ha, .Estos resultados sugieren que probablemente la variedad Western lleva a cabo un ajuste osmótico dado que este parámetro fisiológico tiene el efecto de reducir pérdidas de agua mediante la acumulación de solutos y ciertos iones como Ca, K, y Mg. y al mismo tiempo mantener una tasa fotosintética alta ante posibles reducciones de los potenciales hídricos en hoja y tallo.

Con lo anterior se puede concluir que el rendimiento es básicamente debido a cualidades intrínsecas de la propia variedad dado que las tres variedades estuvieron bajo el mismo esquema de producción donde los árboles en ninguna de las etapas evaluadas sufrieron de estrés hídrico de acuerdo a los datos de potencial hídrico foliar y de tallo los cuales no rebasaron el umbral de un estrés hídrico de acuerdo a diversos autores.

LITERATURA CITADA

Arreola, A. J. G. (2012). Manejo de luz para mejora de producción y calidad en nogal pecanero. XIII Simposio Internacional de Nogal Pecanero 2012. Pp. 110. México.

- Arreola, A. J. G., Lagarda, M., y Borja, D. I. R. (2010). Inducción De Crecimiento Lateral En Nogal Pecanero (*Carya Illinoensis* K. Koch): Mediante Despuntes De Brotes En Primavera." *Revista Chapingo. Serie horticultura* vol. 16, pp. 31-36. México
- Arrieta, R. B. G., Villegas, M. Á., Hernández, B. A., Rodríguez, M. Ma., Ruiz, P. L. del M. y García, V. E. (2010). Estomas y vigor de naranjo 'valencia' injertado en portainjertos tolerantes al virus de la tristeza de los cítricos. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(3), 257-263.
- Costa, M. A. P. C., Almeida, W. A. B., Mourao, F. A. A., Méndez, B. M. J., Rodríguez, A. P. M. (2004). Stomatal analysis of citrus somatic hybrids obtained by protoplast fusion. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 39(3). Pp. 297-300.
- De la Rosa, J. M., Conesa, M. R., Domingo, R., Pagán, E., Corbalán, M., Pérez, A. P. (2010). Estrategias de riego deficitario controlado en nectarino extratemprano. *X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas*. pp. 167-170
- Eddine, H. (2014). Influencia del riego y el estado de carga sobre algunos parámetros fisiológicos en olivo durante la fase de reposo invernal. 61 PP.
- Escalante, C. L., Trejo, C. R., Esquivel, A. O., Arreola, A. J. G., y Flores, H. A. (2008). Photosynthetic rate comparisions in some crops and shrubs. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas*. Vol. 7. Pp. 165-172. México
- Fariña, A., Arrieche, D., Sucre, A. B. y Velázquez, D. (2003). Anatomía comparada de la lámina foliar de las especies de *heliotropium* L. (boraginaceae) presentes en Venezuela *Interciencia*, vol. 28(2) pp. 68-74, Venezuela
- Ferreira, E. R., Selles V.G. y Lemus, S.G. 2002. Effect of water stress during fruit growth phase II of peach trees cv. Kakamas on yield and tree water status. *Agric. Téc.* Vol. 62(4). pp. 565-573
- Godoy, A. C., Xopiyaxtle, J. Z., Reyes, J. I., Torres, E. C. A., Huitrín, R. M. V., Morales, V. J. (2000). Tecnología de riego de nogal pecanero. SAGAR-INIFAP. 1^{ra} edición. pp. 93. México.
- Godoy, Á. C., Xopiyaxtle, J. Z., Reyes, J. I., Torres, E. C. A. (2005). Comportamiento hídrico de hojas y frutos de nogal pecanero y su relación con la calidad y germinación de frutos. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23(4), pp. 505-513. México.
- Grauke, I. J. y Mendoza, H. M. (2012). Estructura poblacional en el género *Carya*. *Acta horticulturae*. (ishs) 948. pp. 143-158
- Núñez M. J. H. (2001). Planeación y establecimiento de la huerta. *In: El nogal pecanero en Sonora*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora. Pp. 210. (Libro Técnico No. 3).
- Orona, C. I., Espinoza, A. J. de J., González, C. G., Murillo, A. B., García, H. J. L., y Santamaría, C. J. (2006). Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya illinoensis* Koch.) en la Comarca Lagunera, México. *Agricultura técnica en México*. Vol. 32(3). pp 295-301.
- Pagán, R. E. (2012). Uso de Indicadores del Estado Hídrico de la Planta para la Optimización del Riego en Cultivos Leñosos. Tesis presentada para obtener el título de Dr. en ciencias por la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Departamento de Producción Vegetal. Pp 149. España
- Salas, J. A., Sanabria, M. E., Pire, R. (2001). Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro* 13(3) pp. 19-104.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A. (1965). Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*. Vol.148. pp. 339-346. USA.
- Sun, Y., Fei, Y., Xiaoyong, C. and Fulai, L. (2014). Plasticity in Stomatal Size and Density of Potato Leaves under Different Irrigation and Phosphorus Regimes. *Journal of Plant Physiology* 171(14) pp. 1248-1255
- Verdugo, O. V., Rojas, D. A., De León R. A., Zambrano, C. B., Barrios, R. S., León N. E., Ríos, B. B. y Benavides, M. A. (1999). Estimación del índice estomático y la frecuencia estomática en 4 variedades de ajo (*Allium sativum* L.). pp 8.