
USO DEL AGUA DE RIEGO POR ASPERSIÓN BAJO ROTACIÓN MAÍZ – CARAOTA EN UN INCEPTISOL DEL VALLE DEL TUCUTUNEMO

Flores¹ Bestalia, Ferrer¹ Jairo, Rincón² Carmen, Hernández³ Francisco

¹ CIESA - UNERG

² INIA - Aragua

³ Postgrado en Ciencia del Suelo. FAGRO - UCV

bestalia.flores@gmail

Resumen

La eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR) en una rotación caraota-maíz con riego por aspersión, fue evaluada en la parcela de la Cooperativa “Valles de Tucutunemo III” del municipio Zamora, estado Aragua, Venezuela. La zona de vida es Bosque Seco Tropical, con precipitación media anual de 1.029 mm, comprendida mayormente entre Mayo y Noviembre, humedad relativa de 70% y temperatura media anual de 25° C. El agua es clasificada como de buena calidad para riego (C1S1). Los tratamientos evaluados fueron: 70, 85, 100 y 140% de la Evapotranspiración del Cultivo (ETc), esta última utilizada por el productor. La variedad de caraota Tacarigua y el híbrido de maíz HIMECA 3005 fueron los cultivares utilizados. Se evaluaron el peso de cien granos, rendimiento y la EUAR, esta última expresada como el rendimiento de granos entre el total del agua utilizada. Se realizaron análisis exploratorios de datos, pruebas de normalidad, de varianza y comparación de medias (Duncan $p \leq 0,05$). Con el 85% ETc se obtuvo el mejor rendimiento en caraota (2355 kg ha⁻¹) y la mayor EUAR (0,98 kg m⁻³), mientras que con el 140% ETc se reportó menor rendimiento (1324 kg ha⁻¹) y EUAR (0,64 kg m⁻³). En maíz el mayor rendimiento (5450 kg ha⁻¹) y EUAR (1,51 kg m⁻³) se lograron con el 100% ETc. En conclusión el exceso y el déficit de agua (140 y 70% ETc) se tradujeron en menores rendimientos y bajaron considerablemente la EUAR tanto en caraota como en maíz.

Palabras clave: riego, evapotranspiración, déficit hídrico, manejo del agua.

Introducción

Debido a la creciente preocupación por la escasez de agua, el debate mundial sobre la gestión de los recursos hídricos se ha centrado en la seguridad alimentaria. La pregunta formulada con más frecuencia es si existe en el mundo la suficiente cantidad de agua para satisfacer las necesidades alimentarias de una población cada vez mayor.

El uso del agua para el riego alcanza casi el 70% de la demanda total. Sin embargo, la eficiencia es baja, se ha estimado que es menor al 30% [Global Water Partnership (GWP); (GWP, 2000)]. Por esa razón, una gestión eficiente del agua destinada al riego es esencial para lograr la eficiencia global del aprovechamiento del recurso [Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); (CEPAL, 1999)]. Por otra parte, la sequía es uno de los factores más limitantes en la producción y calidad de los cultivos a nivel mundial.

En la relación agua–rendimiento se busca el incremento en la productividad del insumo agua en términos de maximizar el rendimiento del producto por unidad de volumen invertido [Sánchez *et al.*, (2006)]. En muchos de los casos la agricultura no puede competir económicamente por los escasos recursos hídricos disponibles, debido a que las ciudades e industrias están en condiciones de pagar cantidades más elevadas por el agua. El sector agrícola tiene que demostrar que el agua que recibe la utiliza adecuadamente para garantizar la seguridad alimentaria. La Eficiencia en el uso del agua es definida por Lamm y Trooien (2001) como el rendimiento de granos de maíz, entre el

total del agua utilizada.

El maíz es uno de los cereales más importante para el consumo humano y animal como grano o forraje. La producción mundial es alrededor de 638 millones de toneladas de grano en aproximadamente 143 millones de hectáreas [Statistics Division of the FAO (FAOSTAT); (FAOSTAT, 2003)]. Parece ser relativamente tolerante al déficit hídrico durante el período vegetativo y el de maduración. La mayor disminución de los rendimientos de grano la ocasiona el déficit hídrico durante el período de floración, incluyendo la formación de la inflorescencia, la formación del estigma y la polinización, debido principalmente a una reducción del número de granos por mazorca. Este efecto es menos pronunciado cuando, en el período vegetativo precedente, la planta ha sufrido déficit hídrico. En el período de formación de grano, el déficit hídrico provocaría disminución del rendimiento debido al menor tamaño del grano (Doorenbos y Kassam, 1979).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris*) es considerado como un cultivo de baja tolerancia a déficit severo de agua; sin embargo, casi 60 % de la producción en América Latina está sujeta a déficit de agua de moderado a severos. El déficit hídrico en el suelo provoca en las plantas una reducción en la absorción de agua, la cual produce respuestas diferenciales sobre los cultivos [Rojas *et al.*, (1990)]. En Venezuela no se conocen estudios en condiciones controladas y de campo que utilicen técnicas de déficit hídrico que permitan evaluar la resistencia de la Caraota (*Phaseolus vulgaris*) y Maíz (*Zea mays*) a la sequía. Es por ello que

se plantea determinar el uso del agua de riego por aspersión bajo rotación maíz-caraota en un suelo Inceptisol en el Valle de Tucutunemo.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo entre Diciembre del 2009 y Mayo del 2011, en la parcela agrícola de la Cooperativa “Valles de Tucutunemo III” del municipio Zamora, estado Aragua, Venezuela, localizada a 10° 2' 4" y los 10° 9' 20" de latitud Norte y 67° 17' 41" y 67° 29' 08" de longitud Oeste y a 490 msnm. La precipitación media anual es de 1.029 mm, comprendida entre los meses de Mayo-Noviembre, los meses restantes son considerados secos, con precipitaciones medias mensuales inferiores a 10 mm, la evaporación media anual es de 2229 mm, humedad relativa media anual es de 70% y temperatura media anual corresponde a 25° C (MARN, 2003).

El suelo bajo estudio es de orden Inceptisol, de textura FAL. Son suelos con alta capacidad de retención de humedad, baja macroporosidad, con valores de CC de 36% y PMP de 17%, la densidad aparente es de 1,36 Mg m⁻³ y alto contenido de materia orgánica (4,82%), alto nivel de fósforo (72 mg kg⁻¹), potasio alto (238 mg kg⁻¹), alto contenido de calcio (1540 mg kg⁻¹). En cuanto a la salinidad, los suelos presentan una CE de 0,18 dS m⁻¹ a 25 °C y pH de 7,5. El agua utilizada es de buena calidad para riego (C1S1). Lo que permite concluir que es un suelo de alta fertilidad.

Se utilizó la variedad de caraota negra (*Phaseolus vulgaris*) Tacarigua; la

siembra se realizó el 1° de Diciembre de 2009, aplicando posteriormente un riego uniforme para garantizar la germinación de la semilla. La población fue de 110.000 plantas por hectárea en parcelas experimentales de 144 m², constituidas por 20 hileras de plantas con separación entre hileras de 0,60 metros y 0,15 entre plantas. Al momento de la siembra se aplicó el fertilizante inorgánico 14 -14 -14 a razón de 20 Kg ha⁻¹. El control de plagas se realizó aplicando *Lannate* a razón de 1 L ha⁻¹. El riego se aplicó por aspersión con un intervalo entre riego de 5 días en la primera etapa del cultivo y cada 3 días durante la etapa de floración-fructificación. La cosecha se realizó el 3 de Marzo de 2009.

El híbrido de maíz usado fue HIMECA 3005; la siembra se realizó el 24 de enero de 2011, aplicando posteriormente un riego uniforme para garantizar la germinación de la semilla. La población establecida fue de 65.000 plantas por hectárea en parcelas experimentales de 144 m² constituidas por 15 hileras de plantas con separación entre hileras de 0,80 metros y 0,20 entre plantas. A los 18 días, después de la emergencia, se aplicó el Biofertilizante (bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo) a razón de 2 L ha⁻¹ de cada una. El control de plagas se realizó aplicando *Bacillus thuringiensis* a razón de 1 kg ha⁻¹ en cuatro dosis continuas cada 8 días. El riego se aplicó por aspersión con un intervalo entre riego de cinco (5) días en la primera etapa del cultivo y cada tres (3) días, durante la etapa de floración-fructificación. La cosecha se realizó el 24 de Mayo del 2011.

El diseño experimental utilizado fue

completamente aleatorio con arreglo en franjas, compuesto por cuatro (4) tratamientos y cuatro (4) repeticiones (Tabla 1). El riego aplicado fue con base a la información de evapotranspiración del cultivo, estimada por Penman-Monteith [Allen *et al.*, (2006)], tomando en cuenta

los porcentajes de ésta: 100, 85, 70 y 140%, respectivamente. El primer riego se aplicó con los valores de capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente y una profundidad de riego de 60 cm.

Tabla 1. Criterios de riego utilizados en el ensayo

Tratamientos	Criterios
L ₁	100 % Evapotranspiración del cultivo
L ₂	85% Evapotranspiración del cultivo
L ₃	70% Evapotranspiración del cultivo
L ₄	140 % Evapotranspiración del cultivo (lámina aplicada por el productor)

Las variables evaluadas fueron: número de vainas, peso de 100 granos y rendimiento de grano corregido a 14%. La Eficiencia de Uso del Agua (EUA), para el desarrollo de este trabajo se tomará como base la siguiente ecuación o expresión:

$$EUA \text{ [kg ha}^{-1} \text{ m}^{-3}] = RG / LA \quad (1)$$

En donde:

RG es el rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹), en grano.

LA es la lámina de riego aplicada durante el ciclo del cultivo (m⁻³).

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico InfoStat [Di Rienzo *et al.*, (2011)], evaluando los estadísticos descriptivos, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para verificar la normalidad de los datos y el análisis de varianza (DUNCAN p≤0,05).

Resultados y Discusión

Peso de cien granos de maíz y caraota
 Se evidencian diferencias significativas (p≤0,05) entre los tratamientos (Figura 1), encontrándose los valores más bajos en el tratamiento con la lámina del productor (140% ETc). No se aprecian diferencias (p≤0,05) entre el tratamiento 100% ETc con respecto a los tratamientos 70 y 85% ETc. Se aprecia una leve reducción del peso de 100 granos de maíz en la medida que se incrementa la aplicación de agua. Estos resultados contradicen los reportados por [Pandey *et al.*, (2000)] quienes reportan una disminución en el peso de grano cuando se presenta déficit hídrico en el cultivo durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases vegetativas, debido a que durante el llenado de granos, cae la tasa fotosintética, se acelera la senescencia y se reduce la asimilación total, afectándose en consecuencia el peso de los granos (Andrade y Sadras, 2000).

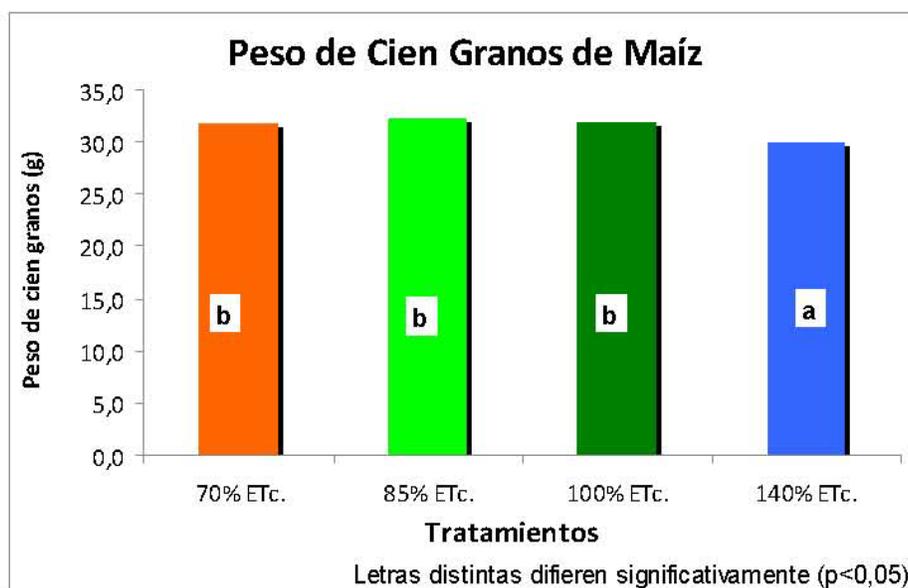


Figura 1. Peso de cien granos de maíz para los diferentes tratamientos

Con respecto al peso de 100 granos de caraota, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos (Figura 2). Los tratamientos 85 y 100% muestran el mayor peso de los granos, seguido de 70% y con menor valor el tratamiento del productor (140% Etc). Se demuestra que el estrés hídrico afecta el rendimiento total y semillas secas y sus componentes en planta, lo cual

puede ser atribuido a la reducción del crecimiento vegetativo. Por otro lado, el bajo contenido de humedad en el suelo afecta negativamente el balance hormonal, el desarrollo de la planta, la translocación y partición de asimilados entre los diferentes órganos de la planta, los cuales a su vez afectan el rendimiento de grano seco (Hsiao y Acevedo, 1974).

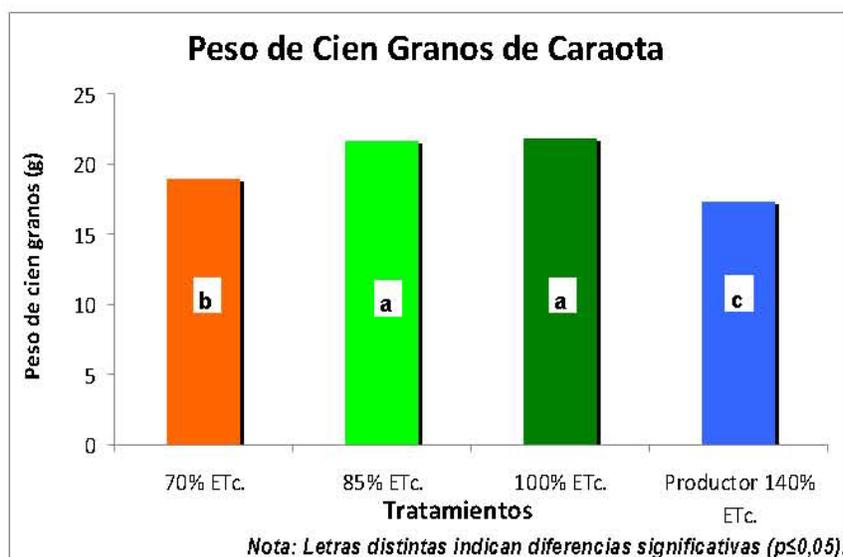


Figura 2. Peso de cien granos de caraota para los diferentes tratamientos

Rendimiento en grano del maíz y caraota

Los rendimientos del cultivo maíz variaron entre 4000 y 5450 kg ha⁻¹ (Figura 3), observándose diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$). El tratamiento que cubre el 100% del requerimiento del cultivo mostró los valores más altos (5450 kg ha⁻¹), seguido del tratamiento con la lamina del productor (140%ETc). Este resultado coincide con lo expresado por [Klocke *et al.*, (1996)], quienes señalan que el agua aplicada más allá de la ETc no necesariamente se traducirá en mayores rendimientos y

los resultados obtenidos por [Rathore *et al.*, (1997), Zaidi y Singh, (2002) y Zaidi *et al.*, (2003)], quienes al aplicar una lámina de 125% Etc encontraron una disminución de los rendimientos. Los tratamientos con déficit (85 y 70% ETc) presentaron los rendimientos más bajos, solo expresaron 74 y 71% en relación al rendimiento obtenido cuando fue cubierto el requerimiento de agua del cultivo (100% ETc), respectivamente. Esto pudiera indicar que el híbrido de maíz utilizado es sensible al déficit hídrico durante la etapa el crecimiento reproductivo (Rivetti, 2006).

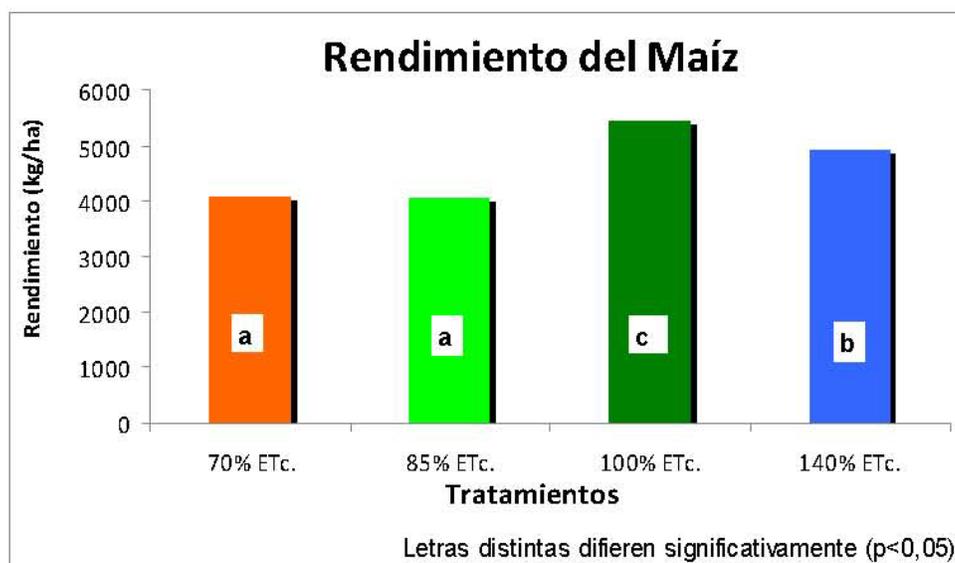


Figura 3. Rendimiento en granos del maíz para los diferentes tratamientos.

El rendimiento final de grano seco en caraota muestra diferencias ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos (Figura 4). El tratamiento de 85% ETc es el que presenta el mayor rendimiento, 2355 kg ha⁻¹, seguido por el tratamiento de 100% ETc, 2184 kg ha⁻¹ y el 70 % ETc con 2060 kg ha⁻¹. La lámina que normalmente aplica el productor (140% ETc) alcanzó los más bajos rendimientos, 1324 kg ha⁻¹.

¹, lo que indica, que no necesariamente a mayor dosis de agua se obtienen mayores rendimientos. Los valores obtenidos en la investigación están en los rangos encontrados por [Warnock *et al.*, (2006)] al evaluar el área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota, quienes reportan rendimientos que oscilaron entre 1200 a 2300 kg ha⁻¹.

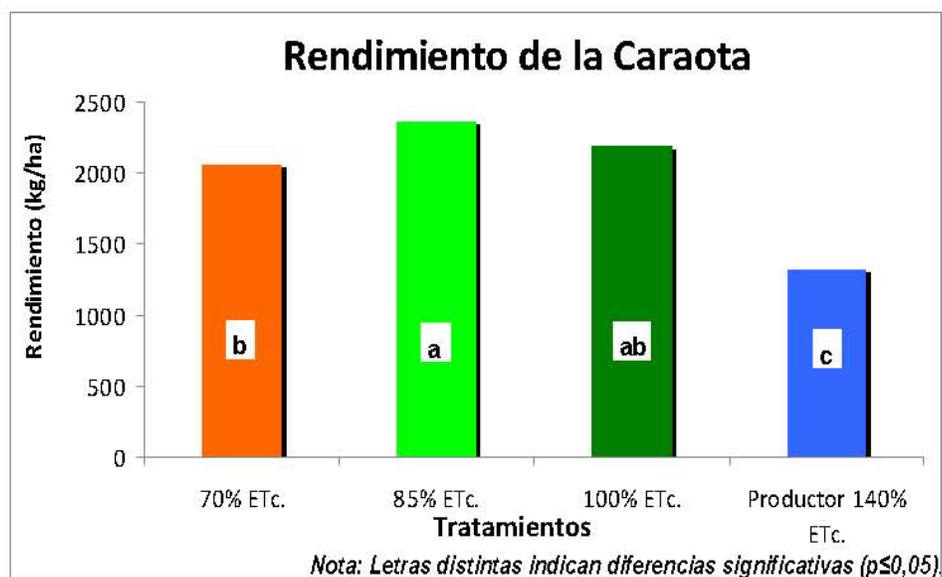


Figura 4. Rendimiento en grano de la caraota para los diferentes tratamientos.

Por otro lado, coinciden con los resultados encontrados por [Emam *et al.*, (2010)], quienes no encontraron diferencias en peso seco de los frutos cuando se aplicó una lámina de 75 y 100% Etc en caraota y con [El-Noemani *et al.*, (2009)], quienes encontraron el mayor número de vainas verdes y semillas secas con un 80% Etc. Hay evidencia para indicar que el déficit (70% Etc) y el exceso (140% Etc) de humedad generan estrés al cultivo, afectando el rendimiento de la caraota en el Valle de Tucutunemo para el tipo de suelo estudiado.

Eficiencia de uso del agua de riego (EUAR)

La EUAR en el cultivo de maíz oscila entre 0,98 y 1,51 kg m⁻³ (Figura 5). El tratamiento que representó el 100% de la ETC obtuvo el mejor rendimiento (5450 kg ha⁻¹) y la mayor eficiencia de uso del agua (1,51 kg m⁻³). La lámina aplicada por el productor (140% ETC) resultó con la menor eficiencia del uso del agua (EUA), lo que indica que aplicaciones superiores al 100% ETC

no contribuyen necesariamente con mejores rendimientos, esto coincide con lo señalado por [Schneekloth *et al.*, (1991)] quienes consiguieron que los rendimientos en trigo y soya no siempre se incrementaron con la aplicación de altas tasas de riego. Los resultados encontrados sugieren que los riegos limitado o excesivo del maíz no son adecuados para la zona de estudio, lo que concuerda con lo encontrado por [Payero *et al.*, (2006)] quienes afirman que inducir estrés no es una buena estrategia de manejo para incrementar la productividad del agua en el cultivo de maíz, siendo necesario minimizar las pérdidas y mejorar la programación del riego. Analizando este indicador UEAR, otros autores han encontrado en maíz, valores de 0,5 kg m⁻³ [Pandey *et al.*, (2000)], 2,7 kg m⁻³ [Kang *et al.*, (2000)] y entre 1,2–1,5 kg m⁻³ [Tolk *et al.*, (1998)], aunque la mayoría de los valores están comprendidos entre 1,2 y 2,0 kg m⁻³ (Rivetti, 2006).

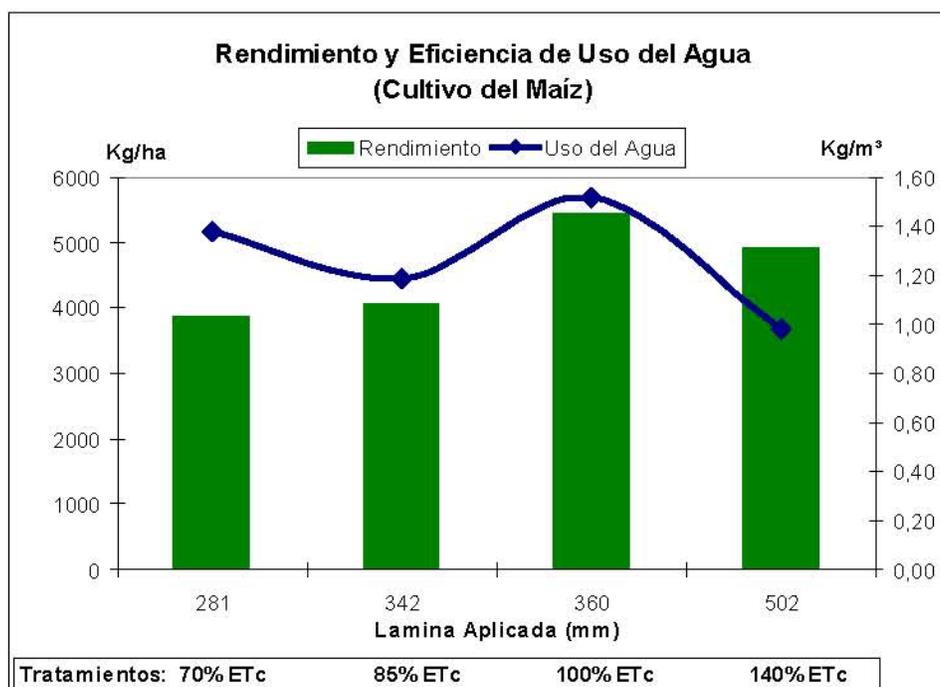


Figura 5. Rendimiento y Eficiencia del uso del agua de riego del maíz

Al comparar los parámetros de rendimiento, son notables las mejoras que se obtienen en maíz cuando se cubre el requerimiento hídrico del cultivo. Esto corrobora que el maíz es poco tolerante al déficit hídrico y a los excesos de agua, los cuales afectan significativamente los rendimientos; en particular para las condiciones de suelo en las que fue evaluado.

La EUAR en el cultivo de caraota alcanza valores entre 0,64 y 0,98 kg.m⁻³ (Figura 6), siendo la mayor eficiencia de uso del agua, 0,98 kg m⁻³ al aplicar el 85% ETc y la más baja 0,64 kg m⁻³ obtenida con la lámina que normalmente aplica el productor (140% ETc). Los resultados obtenidos, concuerdan con los reportados por [El-Noemani *et al.*, (2009), Erdem *et al.*, (2006) y Metin *et al.*, (2005)], los cuales encontraron que la eficiencia de uso de agua por vainas

verdes y rendimiento de semillas secas de guisantes, mostraron altos valores cuando se regó el 80% ETo. Señalan igualmente estos autores que con el incremento del riego por encima del 100% ETo se incrementan las vainas verdes y los rendimientos de semillas secas; sin embargo, en esta investigación se obtuvo que en la medida que se incrementa el riego por encima de los requerimientos del cultivo, los componentes del rendimiento y el rendimiento total disminuyeron con respecto al resto de los tratamientos.

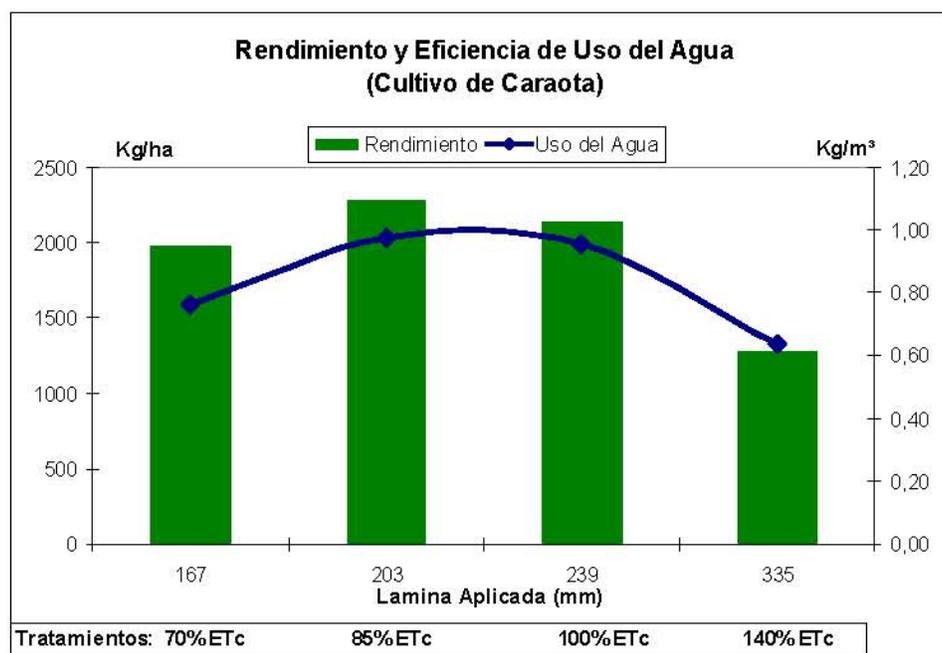


Figura 6. Rendimiento y eficiencia del uso del agua de la caraota

Conclusiones

Se aprecia que con la lámina de 140% de la ETc, los componentes del rendimiento y el rendimiento en maíz y caraota se ven afectados significativamente. Lo que evidencia que un incremento en la lámina de agua de riego no implica mayores rendimientos, pero sí un gasto innecesario de agua que puede ser utilizada en otras actividades. Igualmente, al aplicar láminas deficitarias de riego (70% ETc) se compromete el rendimiento del maíz y la caraota en la zona de estudio.

Por las condiciones de la zona, donde el agua ha sido un factor limitante para el desarrollo agrícola en los últimos años, es prioridad incrementar las utilidades por metro cúbico de agua utilizado. Por lo que en caraota el tratamiento del 85% ETc tendrá mayor impacto en la zona contribuyendo al ahorro del agua para otras actividades, y en maíz la lámina de 100% ETc permitiría los rendimientos óptimos, lográndose un ahorro del 40%

del recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, F. H.; Sadras, V. O. (2000). Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la Soja. (Eds) Andrade, F.H. y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. 173-206.
- CEPAL. (1999). Tendencias Actuales de la Gestión del Agua en América Latina y el Caribe. En: Avances en la Implementación de las Recomendaciones contenidas en el Capítulo 18 del Programa 21, LC/L.1180, Santiago de Chile, Chile.
- CNA. (2004). Comisión Nacional del Agua. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 174 pp.
- Doorenbos, J. ; Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. Estudio de Riego

y Drenaje No. 33, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 193 pp.

El-Noemani, A.; Aboamera, M. A.; Aboellil, O.M.; Dewedar, (2009). Growth, yield, quality and water use efficiency of pea (*Pisum sativum* L.) plants as affected by evapotranspiration (ET_o) and sprinkler height. *Minufiya J. Agric. Res.* 34(4): 1445-1466.

Erdem, T.; Erdem, Y.; Orta, H.; Okursoy, H. (2006). Water-yield relationships of potato under different irrigation methods and regimens. *Scientia Agricola.* 63(3): 226-231.

FAOSTAT. (2003). Bases de datos de producción mundial y comercio internacional de maíz. FAO, Roma.

GWP. (2001). Global Water Partnership. Los principios de Dublín reflejados en una evaluación comparativa de ordenamientos institucionales y legales para una gestión integrada del agua, [en línea]. Recuperado el día 30 de octubre de 2012, de <http://www.cepis.org.pe/bvsarg/e/fulltext/dublin1/dublin1.pdf>

Hsiao, T.; Acevedo, E. (1974). Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agricultural Meteorology.* 14: 59-84.

Kang, S.; Shi, W.; Zhang, J. (2000). An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research.* 67: 207-214.

Klocke, L. (1996). *Evapotranspiration (ET) or Crop Water Use Neb Guide G90-992-A.* Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska-Lincoln. USA.

Lamm, F.R.; Trooien, T.P. (2001). Irrigation capacity and plant population effects on corn production using SDI. In *Proc. Irrigation Assn. Int'l. Irrigation technical Conf. San Antonio. TX: 73-80.*

MARN. (2003). Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Informe Julio 2003. Evaluación hidrológica, Valle del Río Tucutunemo, municipio Zamora, Aragua.

Metin, S.; Yazar, A.; Canbolat, M.; Eker, S.; Felike, G. (2005). Effect of drip irrigation management on yield and quality of field grown green beans. *Agricultural Water Management.* 71: 243-255.

Pandey, R.; Maranville, J.; Admou, A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a Sahelian environment: I. Grain yield and yield components, *Agricultural Water Management.* 46(1): 1-13.

Payero, J.O.; Klocke, L. N.; Schneekloth, J.P., Davison, D.R. (2006). Comparison of irrigation strategies for surface-irrigated corn in West Central Nebraska. *Irrigation Science.* 24 (4): 257-265.

Rathore, T.; Warsi, M.; Zaidi, P.; Singh, N. (1997) Waterlogging problem for maize production in Asian region. *TAMNET News Letter* 4: 13-14.

Rivetti, A. (2006). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Rev. FCA UNCuyo.* Tomo XXXVIII. N° 2. 25-36.

- Rojas, R.; Palacios, E.; Ramírez, C.; Exebio, A. (1990). Validation of the prediction model for grain bean yield. *Agrociencia*. México. 1 (4): 7-24.
- Sánchez, I.; Macas, H.; Heilman, P.; González, G.; Mendoza, S.; Inzunza, M.; Estrada, J. (2006). Planeación Multi objetivo en los distritos de riego de México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones. *Ingeniería Hidráulica en México*. 21 (3): 101 – 111.
- Schneekloth, JP.; Klocke, NL; Hergert, GW; Martin, DL; Clark, RT. (1991). Crop rotations with full and limited irrigation and dryland management. *Transactions of the ASAE USA*. 34 (6): 2372-2380.
- Tolk, J.; Howell, T.; Evett, S. (1998). Evapotranspiration and yield of corn grown on three high Plains soils. *Agronomy Journal*. 90:447-454.
- Warnock, R.; Valenzuela, J.; Trujillo, A.; Madriz, P.; Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical*. 56(1): 21-42.
- Zaidi, P.; Singh, N. (2002). Identification of morpho-physiological traits for excess soil moisture tolerance in maize. In *Stress and Environmental Physiology* (K. K. Bora, K. Singh, and A. Kumar, Eds.). 172–183.
- Zaidi, P.H.; Rafique, S.; Singh, N.N. (2003). Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess moisture stress: Morpho-physiological effects and basis of tolerance. *Eur. J. Agron.* 19:383-399.