

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL RICINO (*Ricinus communis* L.) cv. BRS ENERGÍA REGADO CON DIFERENTES NIVELES DE AGUA SALINA

EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE OF CASTOR BEAN (*Ricinus communis* L.) cv. BRS ENERGÍA IRRIGATED WITH DIFFERENT SALINE WATER LEVELS

Cruz R. Marengo-Centeno¹, Carlos A. Viera de-Azevedo¹, Delfran B. dos-Santos², Vanda M. de-Lira^{3*}, João B. dos-Santos¹

¹Universidad Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande-PB, Rua Maceio, 39, Conjunto Rocha Cavalcanti, Campina Grande-Paraíba, Brasil. CEP: 58423-115. (cruznic58@yahoo.es), (cazevedo@deag.ufcg.edu.br), (agrosantos@hotmail.com). ²Instituto Federal Baiano, Campus de Senhor do Bonfim, Brasil. (delfran.batista@gmail.com). ³Universidad Federal do Rio Grande do Norte/UECIA, Brasil. (vandalira@yahoo.com.br).

RESUMEN

En el Instituto Federal del estado de Bahía, ciudad de Senhor do Bonfim, al nordeste del Brasil se realizó un estudio de verificación de estrés salino del arbusto ricino (*Ricinus communis* L.), cv. BRS Energía. Esta planta se cultiva normalmente en secano, característica importante para la agricultura familiar del campesino de esta región típicamente semiárida, y fue elegida porque es una fuente de materia prima para la extracción de biodiesel. El ciclo promedio de crecimiento de esta variedad es de 120 d. Las plantas fueron cultivadas en lisímetros de drenaje y regadas con agua con siete niveles de salinidad (conductividad eléctrica, ECa): 0.12 (testigo), 0.8, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0 y 4.8 dS m⁻¹, y se cuantificó el agua absorbida y la evapotranspiración. El experimento comenzó en septiembre de 2008 y finalizó 79 d después de la germinación (DDG). El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones y 21 unidades experimentales. Los análisis de los datos se efectuaron con el programa SISVAR ($p \leq 0.05$). Hubo una influencia gradual en la absorción de agua por las plantas de acuerdo con el nivel salino; así, la mayor absorción (2134.67 L) fue con el tratamiento con menor ECa y la menor (1051.12 L) con el tratamiento con mayor ECa, en todo el período del estudio.

Palabras clave: conductividad eléctrica, consumo hídrico, biodiesel, *Ricinus communis* L.

ABSTRACT

In the Federal Institute of Bahia State, City of Senhor do Bonfim, northeastern Brazil, it was conducted a study of verification of saline stress of the shrubby castor bean (*Ricinus communis* L.) cv. BRS Energía. This plant usually grows in rainfed agriculture, an important characteristic for family small farmers in this typically semiarid region, and was chosen because it is a source of raw material for extraction of biodiesel. The average growth cycle of this variety is 120 d. Plants were grown in drainage lysimeters and irrigated with water with seven levels of salinity (electrical conductivity, ECa): 0.12 (control), 0.8, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0 and 4.8 dS m⁻¹, to quantify the absorbed water and evapotranspiration (ET). The experiment began in September 2008, and ended at 79 d after germination (DAG). A completely randomized design was used with three replicates and 21 experimental units. Data analysis was performed using the program SISVAR ($p \leq 0.05$). There was a gradual influence on water absorption by plants according to the saline level; thus, the higher absorption (2134.67 L) was with the treatment with lower ECa and the lowest (1051.12 L) with treatment with higher ECa, throughout the study period.

Key words: electrical conductivity, water consumption, biodiesel, *Ricinus communis* L.

INTRODUCTION

The castor bean belongs to class: Dicotyledoneae, order: Geraniales, family: Euphorbiaceae and species: *Ricinus communis* L., of tropical origin, with wide adaptation and distribution in the world. It is an important oil

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2011. Aprobado: marzo, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 321-331. 2012.

INTRODUCCIÓN

El ricino pertenece a la clase Dicotiledoneae serie Geraniales, familia Euforbiáceas y especie *Ricinus communis* L., de origen tropical, con amplia adaptación y distribución en el mundo. Es un cultivo oleaginoso comercial importante y no comestible, tolera la sequía y tiene una buena respuesta en regiones áridas y semiáridas de la India, China y Rusia (Babita *et al.*, 2010). Es una planta de hábito arbustivo con varios colores del tallo, hojas y ramas; sus frutos tienen espinas, pero no ofrecen resistencia mecánica para el descasque. Las semillas tienen diferentes tamaños, formas, y colores; contienen una fuente prácticamente pura de ácido ricinoléico que le confiere propiedades industriales valiosas a tintas, barnices, polímeros sintéticos, fluidos hidráulicos, lubricantes y cosméticos (Beltrão *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2005). Debido a sus aplicaciones industriales la demanda anual de ricino en el mundo es 220 000 t y sólo 60 % de la producción mundial usa esa demanda (Pohlmeier *et al.*, 2008).

En Brasil el ricino presenta un potencial de producción de aceite alto, tiene aplicaciones en la industria química y farmacéutica, y se usa para la producción de biodiesel (Savy, 2005). Según Santos *et al.* (2001), el repunte de la producción de ricino ocurrió en Bahía, Brasil, a partir del Protocolo del ricino en el año 2000. El gobierno federal, en una iniciativa conjunta con el Banco del Nordeste y una industria local de aceite que garantiza la compra de la producción directamente de los productores, inició el Programa Nacional de la Producción y el Uso de Biodiesel (PNBP), pagando los precios definidos por el mercado a través de contratos firmados. Esto intensificó las investigaciones del procesamiento de transformación de aceites vegetales y animales en biodiesel, con apoyo del Gobierno Federal. En 2004 el ricino fue altamente calificado como una de las fuentes de materia prima para la extracción de biodiesel (Nass *et al.*, 2007; César and Batalha, 2010).

El ricino cv. BRS Energía fue desarrollado y difundido en 2007 por la Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) junto con la Empresa Bahiana de Desarrollo Agrícola S. A. (EBDA) y la Empresa de Pesquisa Agropecuaria del Río Grande del Norte (EMPARN). Este cultivar es precoz con ciclo promedio de crecimiento de 120 d, un tamaño de 1.40 m, tallo verde, los racimos de

commercial crop not edible, tolerates drought and has a good response in arid and semiarid regions of India, China and Russia (Babita *et al.*, 2010). It is a plant of shrubby habit with various colors of stem, leaves and branches; its fruits have thorns, but they do not have mechanic resistance to be peeled. Seeds have different sizes, shapes, and colors; containing a substantially pure source of ricinoleic acid which confers them valuable industrial properties such as inks, coatings, synthetic polymers, hydraulic fluids, lubricants and cosmetics (Beltrão *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2005). Due to their industrial applications the annual demand of castor bean in the world is 220 000 t and only 60 % of the global production uses that demand (Pohlmeier *et al.*, 2008).

In Brazil, castor bean has a high potential for oil production, has applications in chemical and pharmaceutical industry, and is used for biodiesel production (Savy, 2005). According to Santos *et al.* (2001), the rise in the production of castor bean occurred in Bahía, Brazil, from castor bean Protocol in 2000. The federal government, in a joint venture with the Bank of the Northeast and a local oil industry that guarantees the purchase of the production directly from producers, launched the National Program of Production and Use of Biodiesel (PNBP), paying the price set by the market through signed contracts. This intensified the research on the transformation processing of animal and vegetable oils into biodiesel, with support from the Federal Government. In 2004 castor bean was highly rated as a source of raw material for extraction of biodiesel (Nass *et al.*, 2007; César and Batalha, 2010).

The castor bean cv. BRS Energía was developed and disseminated in 2007 by the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) together with the Agricultural Development Corporation of Bahía S. A. (EBDA) and the Agricultural Research of Río Grande do Norte (EMPARN). It is a precocious cultivar with an average growth cycle of 120 d, 1.40 m in size, green stems, the racemes of fruits are conic or capsular and have an average size of 60 cm, green with wax, spherical, thorny, with three divisions and three indehiscent seeds (0.40 to 0.53 g; brown and beige) and from them is extracted of 35 to 55 % of the laxative castor oil, which is the basis to produce biodiesel in the Brazilian industries. The average productivity is around 1800 kg ha⁻¹ and recommended spacing in monoculture conditions is 1.0×1 m and 0.70×0.40 m.

sus frutos son cónicos o capsulares y un tamaño medio de 60 cm, verdes con cera, esférico, espinoso, con tres divisiones y tres semillas indehiscente (0.40 a 0.53 g; castaño y beige) y de ellas se extrae de 35 a 55 % del aceite purgante de ricino, que es la base para la producción de biodiesel en las industrias brasileñas. La productividad media es alrededor de 1800 kg ha⁻¹ y el espaciado recomendado en condiciones de monocultivos es 1.0×1 m y 0.70×0.40 m.

La región nordeste del Brasil presenta una temperatura anual de 20 a 28 °C en zonas con altitudes superiores a 200 m, mientras que junto al mar oriental va de 24 a 26 °C (Carvalho y Egler, 2003). Esa región tiene alrededor de 3000 h de sol al año e índices acentuados de evapotranspiración (2000 mm año⁻¹) debido a la incidencia perpendicular de la luz solar en la superficie de la tierra. La distribución de las precipitaciones es muy compleja porque puede ser de tres meses y a veces cero, y la precipitación anual varía de 300 a 2000 mm en función de la subregión nordeste. Galo (2008) observó que la precipitación y temperatura son factores importantes en el desenvolvimiento del ricino, y en el trabajo de campo la mayor frecuencia de recolectas corresponde a las zonas relativamente secas; además, todas las recolecciones botánicas se han realizado entre 13 a 26 °C. El ricino requiere luminosidad alta y necesita 10 a 12 h de luz diaria para completar su ciclo, además temperaturas de 20 a 30 °C, baja disponibilidad de agua o una precipitación promedio de 500 mm anual y altitudes de 400 a 1200 m (Diamond, 2010).

Para el nordeste brasileño, una región semiárida, el ricino tiene gran potencial económico debido a sus características xerofíticas o tolerante a la sequía (Azevedo y Lima, 2001). Puede desarrollarse satisfactoriamente en climas secos, por lo cual es baja la probabilidad de perder de la producción por la falta de agua.

El consumo hídrico de un cultivo se puede calcular evaluando la evapotranspiración. Para determinar directamente la evapotranspiración destacan los métodos del equilibrio hídrico en el suelo, por lisímetros y los micro meteorológicos. El método por lisímetros consiste en usar recipientes enterrados con un volumen de suelo, y se determinan algunos términos del equilibrio hídrico. Éste es el método más preciso para la determinación directa de la evapotranspiración de referencia, si su instalación es

The northeastern region of Brazil has an annual temperature of 20 to 28 °C in areas with elevations above 200 m, while near to the eastern sea is from 24 to 26 °C (Carvalho and Egler, 2003). The region has about 3000 h of sunshine per year and accentuated indices of evapotranspiration (2000 mm year⁻¹) due to the perpendicular incidence of solar light on the surface of earth. The rainfall distribution is very complex because it can occur three months and sometimes zero, and the annual rainfall varies from 300 to 2000 mm in function of the northeastern sub-region. Galo (2008) observed in his research that precipitation and temperature are important factors in the development of castor bean, and in field work the highest frequency of collections correspond to relatively dry areas; in addition, all botanical collections have been performed between 13 and 26 °C. Castor bean requires high luminosity, from 10 to 12 h of daylight to complete its cycle, as well as temperatures of 20 to 30 °C, low water availability or an average precipitation of 500 mm annually and altitudes of 400 to 1200 m (Diamond, 2010).

For the Brazilian northeast, a semiarid region, the castor bean has great economic potential due to its xerophytic characteristics or tolerance to drought (Azevedo and Lima, 2001). It can develop successfully in dry climates, therefore, the probability of losing production due to lack of water is low.

The water consumption of a crop can be calculated evaluating evapotranspiration. To determine the evapotranspiration directly the soil water balance, lysimeter and micro meteorological methods were used. The lysimeter method consists of using buried containers buried with a volume of soil and some terms of water balance are determined. This is the most accurate method for the direct determination of the evapotranspiration of reference, if its installation is correct (Bernard *et al.*, 2005). Since the crop evapotranspiration (ET_c) is directly related to the reference evapotranspiration (ET_o), its determination is essential for a good irrigation management.

Therefore, the objective of this study was to quantify water absorbed by the castor bean, cv. BRS Energia, based on the measurement of ET_c , and irrigated with water with seven salinity levels.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted at the Federal Institute of Bahía, state in the northeastern of Brazil, at the experimental

correcta (Bernardo *et al.*, 2005). Dado que la evapotranspiración del cultivo (ET_c) está relacionada directamente con la evapotranspiración de referencia (ET_o), su determinación es fundamental para manejo adecuado del riego agrícola.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue cuantificar el agua absorbida por el ricino, cv. BRS Energía, basándose en la medición de la ET_c y riego con agua con siete niveles de salinidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Instituto Federal de Bahía, estado del nordeste del Brasil, en la finca experimental de riego y drenaje del Campus de la ciudad del Senhor do Bonfim, ubicado en 10° 22' S, 40° 08' O, con una altitud de 530 m. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones, y los tratamientos fueron siete niveles de salinidad del agua de riego con siete conductividades eléctricas: 0.12 (agua limpia o testigo); 0.8, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0 y 4.8 dS m⁻¹ (25 °C). Se usó el ricino cv. BRS Energía, con un espacio entre líneas de 0.7 m y 0.5 m entre plantas, de acuerdo con recomendaciones técnicas. Se instalaron 21 lisímetros de drenaje y cada unidad tenía cuatro plantas, con 84 plantas útiles durante el estudio. Las dimensiones del área fueron: ancho 7.0 m, largo 17.8 m, y 124.6 m² total.

Cada lisímetro es de 1120 L (ancho 1.0 m, largo 1.4 m, profundidad 0.8 m), con una separación de 1 m. El volumen de agua drenado se usó para determinar la conductividad eléctrica. La siembra se realizó manualmente a 2 cm de profundidad del suelo y cuatro semillas por hoyo, el 13 de septiembre de 2008. La limpieza de hierbas dañinas y abono de las plantas se hizo manualmente durante el período de crecimiento de la planta. La fertilización se hizo con base en el análisis de suelo, aplicando P durante la siembra y después de 20 d de germinación; al nacer las primeras hojas de la planta se aplicó 40 kg ha⁻¹ N y 60 kg ha⁻¹ K.

El cálculo del consumo de agua ($C.A.$) de las plantas se realizó desde la siembra de las semillas y a cada 15 d después de la germinación (DDG), hasta llegar a los 79 DDG:

$$C.A. = \sum V_{ap} - \sum V_{ad} \quad (1)$$

donde $C.A.$ es consumo de agua (L); V_{ap} , V_{ad} es volumen de agua aplicado y drenado (L).

Todos los lisímetros fueron regados hasta la capacidad de campo, tomando como base el contenido volumétrico de agua en el suelo (Figura 1).

field of irrigation and drainage, Campus of the City Senhor do Bonfim, located at 10° 22' S, 40° 08' W, at an altitude of 530 m. A completely randomized experimental design with three replications was used, and treatments were seven levels of salinity in irrigation water with seven electrical conductivities: 0.12 (clean water or control), 0.8, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0 and 4.8 dS m⁻¹ (25 °C). Castor bean cv. BRS Energía was utilized, with a space of 0.7 m between rows and 0.5 m between plants, according to technical recommendations. Twenty one drainage lysimeters were installed and each unit had four plants, with 84 useful plants throughout the study. The area dimensions were: 7.0 m wide, 17.8 m long with a total of 124 m².

Each lysimeter has a volume of 1120 L (1.0 m wide, 1.4 m long and 0.8 m deep) separated in 1 m. The drained volume of water was used to determine electrical conductivity. Sowing was done manually at 2 cm depth of soil and four seeds per hole, on 13 September 2008. Clearing weeds and plant fertilizer was done manually during the period of plant growth. Fertilization was based on soil analysis, applying P at sowing and at 20 d after germination; at emergence of first leaves of the plant, 40 kg ha⁻¹ N and 60 kg ha⁻¹ K were applied.

Calculation of water consumption ($C.A.$) of plants was performed starting at the seed sowing and each 15 d after germination (DAG), until reaching 79 DAG:

$$C.A. = \sum V_{ap} - \sum V_{ad} \quad (1)$$

where $C.A.$ is water consumption (L); V_{ap} , V_{ad} is applied and drained water volume (L).

All lysimeters were irrigated up to field capacity, taking as basis the volumetric water content in soil (Figure 1).

Irrigation doses applied corresponded to ET_c during the cycle of castor bean cv. BRS Energía, adding 10 % of leaching fraction in all treatments. The irrigation period was 2 d and its application was manual and uniform. During the growing cycle of the castor bean a sampling of soil in each lysimeter was carried out to evaluate moisture by the gravimetric method. Daily ET_o was calculated by direct measurements in a grass drainage lysimeter (1.5 m diameter), installed in the study area:

$$ET_o = \frac{V_{ap} - V_{ad}}{S} \frac{1}{TR} P_e \quad (2)$$

where V_{ap} and V_{ad} is applied and drained water volume (L), S is exposure surface of the grass lysimeter, TR is irrigation time (1 d), P_e is effective precipitation (mm).

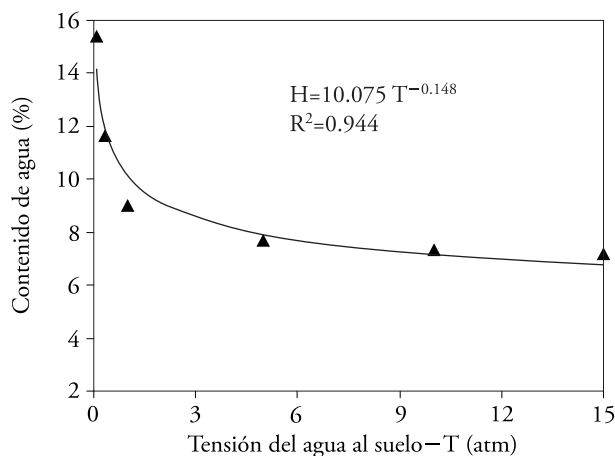


Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo en el área de estudio.

Figure 1. Retention curve of soil moisture in the study area.

Las dosis de riego aplicado correspondieron a la ET_c durante el ciclo del ricino cv. BRS Energía, añadiendo 10 % de fracción de lixiviación en todos los tratamientos. El tiempo de riego fue 2 d con aplicación manual y uniforme. Durante el ciclo de crecimiento del ricino se realizó un muestreo de suelo en cada lisímetro para evaluar la humedad por el método gravimétrico. Se calculó la ET_o diaria, a través de mediciones directas en un lisímetro de drenaje de pasto (1.5 m diámetro) instalado en el área de estudio:

$$ET_o = \frac{V_{ap} - V_{ad}}{S} \frac{1}{TR} P_e \quad (2)$$

donde V_{ap} y V_{ad} es volumen de agua aplicado y drenado (L), S es superficie de exposición del lisímetro de pasto, TR es tiempo de riego (1 día), P_e es precipitación efectiva (mm).

La ET_c se calculó de manera similar a la determinación de ET_o :

$$ET_c = \frac{V_{ap} - V_{ad}}{S} \frac{1}{TR} P_e \quad (3)$$

donde V_{ap} , V_{ad} es volumen de agua aplicado y drenado (L), S es superficie de exposición del lisímetro (1.4 m²), TR es tiempo de riego (2 d).

El coeficiente de cultivo (K_c) del ricino cv. BRS Energía se obtuvo con la relación entre la ET_c (mm) y la ET_o (mm) diaria (Doorenbos y Kassam, 1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (4)$$

donde K_c es coeficiente de cultivo.

ET_c was calculated similarly to the determination of ET_o :

$$ET_c = \frac{V_{ap} - V_{ad}}{S} \frac{1}{TR} P_e \quad (3)$$

where V_{ap} , V_{ad} is applied and drained water volume (L), S is exposure surface of lysimeter (1.4 m²), TR is irrigation time (2 d).

The crop coefficient (K_c) of castor bean cv. BRS Energía was obtained with the daily relationship between ET_c (mm) and ET_o (mm) (Doorenbos and Kassam, 1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (4)$$

where K_c is crop coefficient.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the climatic condition in which the study of castor bean cv. BRS Energía was conducted, which influenced the results of ET_c because temperature remained around 35 °C, there was practically no precipitation, and the lysimeters were maintained at field capacity. This caused a reduction in plant growth, and the osmotic effect which affects physiological phases of the plants must also be considered.

Temperature increase causes a higher evapotranspiration in plants, regardless of changes in precipitations (Nobre *et al.*, 2007). Both precipitation and temperature affect castor bean; it can produce with low water availability and during dry periods; seed grows well at temperatures of 20 to 30 °C (Samayoa, 2007).

Table 1 shows the analysis of variance on total water consumption and in Table 2 the statistics for each treatment, from germination up to 79 DAG; from 60 to 79 DAG, no water was applied to castor bean cv. BRS Energía. But the water absorption trend in the treatments with low salinity continued to increase, while in those of higher level of salinity there was a much lower water absorption, which can be related to the period of fruit ripening.

The highest values of water applied were observed in the treatment with electrical conductivity (ECa) of 0.12 dS m⁻¹. The amount of water drained, was no different among the treatment. Silva *et al.*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra el estado climático en el que se desarrolló el estudio del ricino cv. BRS Energía, y que influyó en los resultados de la ET_c porque la temperatura permaneció alrededor de 35 °C, prácticamente no hubo precipitación, y los lisímetros se mantuvieron en capacidad de campo. Eso causó una reducción en el crecimiento de la planta y se debe considerar también el efecto osmótico que afecta las fases fisiológicas de las plantas.

El aumento de la temperatura causa en las plantas mayor evapotranspiración, independientemente de los cambios en las precipitaciones (Nobre *et al.*, 2007). Tanto la precipitación como la temperatura afectan el ricino, pues puede producir con disponibilidad baja de agua y en períodos secos; la semilla se desarrolla bien con temperaturas de 20 a 30 °C (Samayoa, 2007).

En el Cuadro 1 se muestra el análisis de varianza relativo al consumo total de agua y en el Cuadro 2 los estadísticos del consumo por tratamiento, desde la germinación hasta 79 DDG; desde 60 a 79 DDG no se aplicó agua al ricino. Pero la tendencia de absorción de agua en los tratamientos con salinidad baja siguió aumentando, mientras que en los de mayor nivel de salinidad hubo absorción menor de agua, lo cual puede estar relacionada con el periodo de la maduración de los frutos.

Los valores de agua mayores aplicados correspondieron con la conductividad eléctrica (ECa) de 0.12 dS m⁻¹. No hubo diferencia significativa en la cantidad de agua drenada entre tratamientos. Silva *et al.* (2008) señalan que con el aumento de la salinidad del agua, desde 4.7 dS m⁻¹, a los 80 y 100 d después de la siembra, disminuyó el consumo diario de agua de las plantas. En un estudio con maní (*Arachis hypogea*) sometido a estrés salino, con ECa entre 0.4 y 6.0 dS m⁻¹, la salinidad afectó la altura de las plantas con una tasa de reducción de 3.29 % por incremento unitario de la ECa (Correia *et al.*, 2005).

Durante el estudio se observó visualmente que ninguna planta presentó síntomas de toxicidad, incluso con ECa altos, y se puede afirmar que el cultivo del ricino cv. BRS Energía en la región de estudio se puede regar con los niveles de salinidad evaluados en este estudio. Además, la reducción del

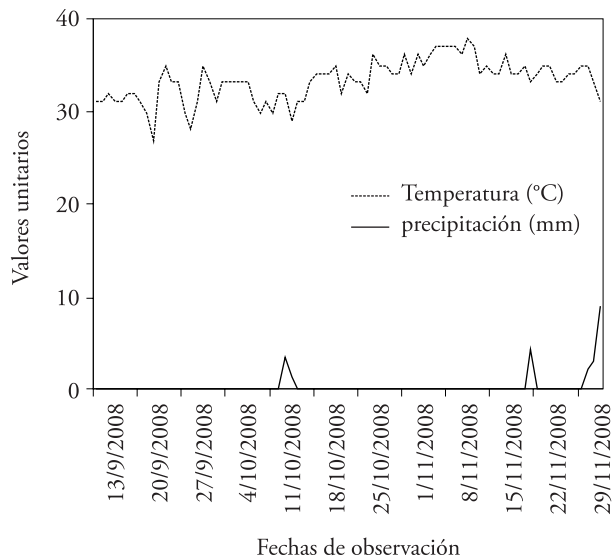


Figura 2. Datos de temperatura y precipitación durante el estudio, desde la germinación hasta 79 DDG, en la ciudad de Senhor do Bofim-BA, Brasil.

Figure 2. Temperature and precipitation data during the study, from germination to 79 DAG, in the City of Senhor do Bofim-BA, Brazil.

(2008) point out that with the increase in water salinity, from 4.7 dS m⁻¹, at 80 and 100 d after sowing, the daily water consumption of plants decreased. In a study of peanut (*Arachis hypogea*) subjected to saline stress, with ECa ranging from 0.4 to 6.0 dS m⁻¹, salinity affected the plant height at a reduction rate of 3.29 % per unit increase of ECa (Correia *et al.*, 2005).

During the study it was visually observed that no plant showed symptoms of toxicity, even at high ECa values, and it is possible to state that the cultivation of castor bean cv. BRS Energía in the study area can be irrigated with salinity levels shown in this study. Furthermore, the reduction in water consumption may be associated directly to the irrigation water salinity, generating a reduction in the emergence of leaves of the castor bean and the size of the plant. Cavalcanti *et al.* (2005) point out that with castor bean in saline conditions (ECa 0.70 to 4.70 dS m⁻¹) and at 80 DAG, the salinity of the irrigation water affected the leaf area and the water consumption by plants decreased 6.29 % with the unit increase of ECa.

The obtained results from the daily integrated values of ET_o showed a minimal difference between the methods used. This showed that the

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza del cuadrado medio, relativo al consumo total de agua del ricino cv. BRS Energía, en los siete tratamientos desde la germinación hasta los 79 DDG, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.**Table 1. Summary of analysis of variance of mean square concerning the total water consumption of castor bean cv. BRS Energía, in the seven treatments from germination to 79 DAG at City of Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.**

Fuente de variación	Cuadrado medio				
	GL	Volumen aplicado	Volumen drenado	Consumo	Dosis de riego mm
		L			
Tratamientos	6	361681.77 **	1530.42 ns	400512.80 **	204344.61 **
Residuo	14	7528.57	2403.27	14145.99	7217.30
CV %		5.04	21.47	7.96	7.96
Total	20				
			Regresión		
Linear	1	1996424.62 **	7450.46 ns	2247785.53 **	1146840.60 **
Cuadrática	1	74239.23 **	192.63 ns	66870.21 *	34115.84 *
Desviación	4	24856.70 *	384.86 ns	22105.26 ns	11277.81 ns

Tratamientos: (ECa de 0.12 (control); 0.8; 1.6; 2.4; 3.2; 4.0 y 4.8 dS m⁻¹); GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; **p≤0.01; *p≤0.05; ns: no significativo ❖ Treatments: (ECa of 0.12 (control); 0.8; 1.6; 2.4; 3.2; 4.0 y 4.8 dS m⁻¹); GL: degrees of freedom; CV: coefficient of variation; **p≤0.01; *p≤0.05; ns: no significant.

Cuadro 2. Consumo total de agua del ricino cv. BRS Energía, en los siete tratamientos desde la germinación hasta los 79 DDG, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.**Table 2. Total water consumption of castor cv. BRS Energía, in the seven treatments from germination to 79 DAG in the City Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.**

Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Consumo de agua por tratamientos			
	Aplicado (L)	Drenado (L)	Consumo (L)	Dosis de riego (mm)
0.12 (control)	2348 a	212.99 a	2134.67 a	1524.76 a
0.8	1900 b	202.34 a	1697.98 b	1212.85 b
1.6	1834 b	204.94 a	1628.72 b	1163.37 b
2.4	1694 bc	227.00 a	1466.66 bc	1047.61 bc
3.2	1537 cd	250.24 a	1286.75 cd	919.11 cd
4.0	1434 d	241.27 a	1192.39 cd	851.71 cd
4.8	1310 d	259.21 a	1051.12 d	750.79 d

Tres repeticiones por tratamientos. a, b, c, d: Medias con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05) ❖ Three replicates per treatment. a, b, c, d: Average with different letters in a column are statistically different (Tukey, p≤0.05).

consumo de agua puede relacionarse directamente con la influencia de la salinidad del agua de riego, que disminuye la exposición de hojas del ricino y el crecimiento de la planta. Cavalcanti *et al.* (2005) señalan que en condiciones salinas (0.70 a 4.70 dS m⁻¹) y 80 DDG, la salinidad del agua de riego afectó significativamente el área de la hoja y el consumo de agua por las plantas disminuyó 6.29 % con el aumento unitario de la ECa.

evapotranspiration rate of castor bean had a minimal effect since the average values of ET_o obtained by the grass lysimeter method and by the indirect method of Hargreaves-Samani were 5.3 mm d⁻¹ and 4.6 mm d⁻¹ (Figures 3, 4 and 5). For hot, dry weather conditions, the average fraction of total soil water available (p), with $ET \approx 5$ mm d⁻¹ can be 0.50, a value used for several crops, including castor bean (Allen *et al.*, 2006).

Los resultados entre los valores integrados diarios de ET_o mostraron una diferencia mínima entre los métodos usados. Esto mostró que la tasa de evapotranspiración del ricino tuvo un efecto mínimo ya que los valores promedios de ET_o obtenidos por el método del lisímetro de pasto y por el método indirecto de Hargreaves-Samani fueron 5.3 mm d^{-1} y 4.6 mm d^{-1} (Figuras 3, 4 y 5). Para condiciones atmosféricas cálidas y secas, la fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (p), con $ET \approx 5 \text{ mm d}^{-1}$, puede ser 0.50, valor usado para varios cultivos, entre ellos el ricino (Allen *et al.*, 2006).

Los datos de la ET_o del lisímetro de pasto se usaron para calcular el Kc del ricino cv. BRS Energía (Cuadro 3), en todos los tratamientos desde la siembra hasta la germinación y en DDG cada 15 d, totalizando 79 DDG.

Los valores de la ET_c decrecieron con el aumento de la ECa del agua de riego en los periodos de aplicación (Cuadro 4), desde la siembra y especialmente desde 45 a 79 DDG. Los efectos de la salinidad se intensificaron durante el tiempo del estudio y la intensidad de la evapotranspiración aumentó de acuerdo con la edad de la planta, es decir, de acuerdo a su crecimiento y desarrollo.

Durante este estudio, el ricino fue afectado sensiblemente con la aplicación de agua salina, reduciendo el nacimiento de hojas y el tamaño de la planta.

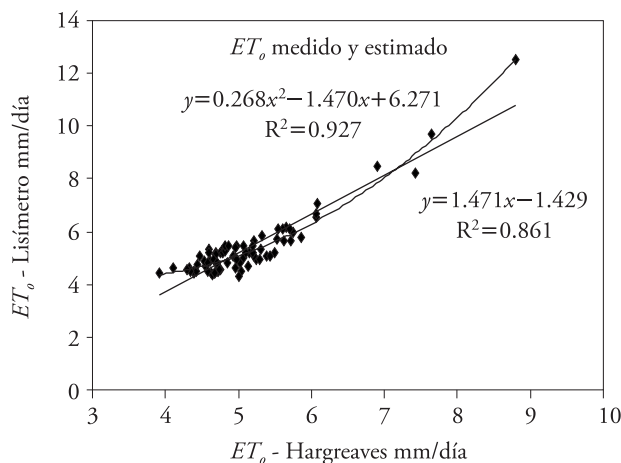


Figura 3. Estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en ricino cv. BRS Energía, medido y estimado, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.

Figure 3. Estimation of reference evapotranspiration (ET_o) in castor bean cv. BRS Energía, measured and estimated in Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.

Data from ET_o of the grass lysimeter were used to calculate Kc of castor bean cv. BRS Energía (Table 3) in all treatments from sowing to germination and at DAG every 15 d, totaling 79 DAG.

The ET_c values decreased in accordance with the increase in ECa of irrigation water (Table 4), starting from the sowing and being marked

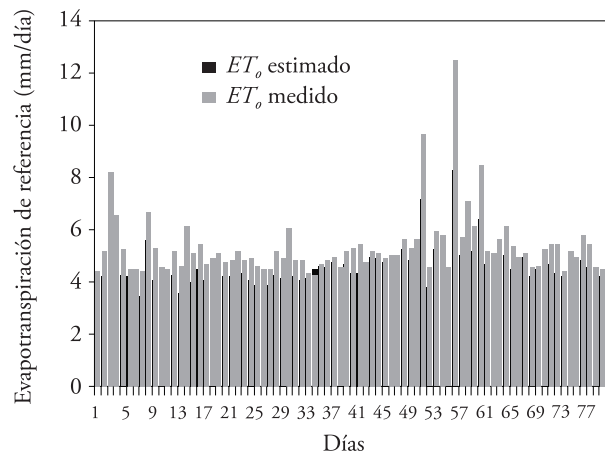


Figura 4. Valores de la evapotranspiración de referencia (ET_o) estimado y medido, del ricino cv. BRS Energía, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.

Figure 4. Values of reference evapotranspiration (ET_o) estimated and measured of castor bean cv. BRS Energía in Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.

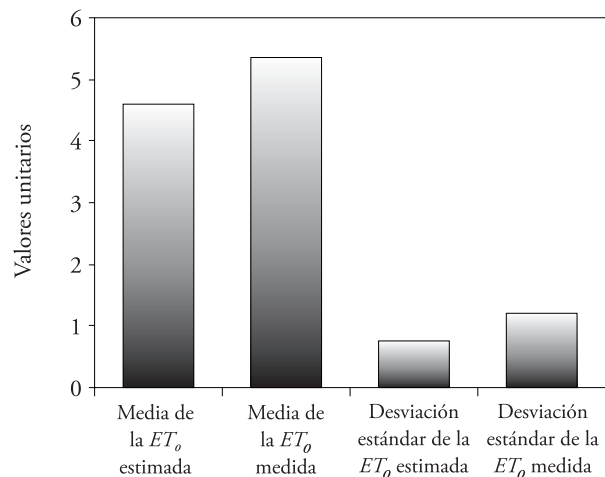


Figura 5. Evaluación de la media y de la desviación estándar de la evapotranspiración de referencia (ET_o), del ricino cv. BRS Energía, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.

Figure 5. Evaluation of the mean and standard deviation of reference evapotranspiration (ET_o) of castor bean cv. BRS Energía in Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.

Cuadro 3. Coeficiente de cultivo del ricino cv. BRS Energía, desde la germinación y después a los 15, 30, 45, 60 y 79 DDG, de acuerdo con los niveles de salinidad del agua de riego, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.**Table 3. Castor bean crop coefficient cv. BRS Energía, from germination and then at 15, 30, 45, 60 and 79 DAG, according to the levels of irrigation water salinity, in Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.**

Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Germinación	15 DDG	30 DDG	45 DDG	60 DDG	79 DDG
0.12 (control)	0.29 a	0.41 a	1.32 a	2.67 a	3.20 a	1.82 a
0.8	0.25 a	0.37 abc	1.27 ab	2.15 b	2.27 b	1.22 b
1.6	0.27 a	0.38 ab	1.29 a	2.01 bc	2.18 b	1.17 b
2.4	0.28 a	0.36 bc	1.19 ab	1.59 cd	1.82 bc	1.01 bc
3.2	0.24 a	0.34 bc	1.13 ab	1.46 d	1.49 cd	0.96 bc
4.0	0.28 a	0.35 bc	1.17 ab	1.29 d	1.40 cd	0.97 bc
4.8	0.29 a	0.33 c	1.03 b	1.17 d	1.07 d	0.75 c
DMS	0.16	0.04	0.25	0.43	0.63	0.42
CV %	21.29	4.34	7.56	8.72	11.67	13.25

a, b, c, d Medias con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación. ♦ a, b, c, d Means with different letters in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS: minimum significant difference; CV: coefficient of variation.

Las plantas que recibieron agua con concentraciones bajas de salinidad se desarrollaron mejor que las que tuvieron mayor concentración. En general, cultivos sometidos a estrés salino ejercen gran influencia en la extracción de agua del suelo por las raíces (Sausen y Rosa, 2010), lo cual afecta las variables fisiológicas de la planta.

especially from 45 to 79 DAG. The effects of salinity increased during the study period and intensity of evapotranspiration increased with age of the plant, *i.e.*, according to its growth and development.

During this study, the castor bean plant was affected significantly by the application of saline water, reducing the emergence of leaves and plant size.

Cuadro 4. Evapotranspiración del ricino cv. BRS Energía, desde la siembra de su semilla a su germinación y después a los 15, 30, 45, 60 y 79 DDG en función de los niveles de salinidad del agua de riego, en Senhor do Bonfim, estado de Bahía, Brasil.**Table 4. Evapotranspiration of castor bean cv. BRS Energía, from sowing of seed to germination and then at 15, 30, 45, 60 and 79 DAG according to levels of irrigation water salinity, in Senhor do Bonfim, State of Bahía, Brazil.**

Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Germinación	15 DDG	30 DDG	45 DDG	60 DDG	79 DDG
		mm				
0.12 (testigo)	25.89 a	57.80 a	230.21 a	747.55 a	1283.99 a	1542.17 a
0.8	20.18 a	51.77 bc	219.13 a	647.16 ab	1027.12 b	1193.02 b
1.6	24.48 a	52.26 ab	221.12 a	615.79 b	979.89 b	1140.23 b
2.4	25.10 a	50.48 bc	208.03 ab	552.76 bc	854.89 bc	1000.14 bc
3.2	21.11 a	47.31 bc	196.82 ab	486.39 cd	734.31 cd	869.93 cd
4.0	24.48 a	48.46 bc	200.52 ab	453.83 cd	684.86 cd	818.28 cd
4.8	26.20 a	46.23 c	18.22 b	412.31 d	587.26 d	698.81 d
DMS	13.94	5.92	37.21	102.93	178.93	221.06

a, b, c, d Medias con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). ♦ a, b, c, d Means with different letters in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS: minimum significant difference; CV: coefficient of variation.

CONCLUSIONES

El consumo de agua del cultivo ricino cv. BRS Energía está directamente relacionado con los niveles de salinidad en el agua de riego; así, el consumo fue mayor con la menor salinidad. Los valores medios de la ET_o , obtenido por el método del lisímetro de pasto y por el método indirecto de Hargreaves-Samani, fueron semejantes. Los resultados de la evapotranspiración se relacionan con los datos visuales, según lo cual una alta concentración de sales en el agua de riego reduce el crecimiento vegetal.

LITERATURA CITADA

- Azevedo, D. M. P., e E. F. Lima. 2001. O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 350 p.
- Babita, M., M. Maheswari, L. M. Rao, A. K. Shanker, and D. G. Rao. 2010. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. Environ. Exp. Bot. 69: 243-249.
- Beltrão, N. E. M. 2001. Fitologia. In: Azevedo, D. M. P., e E. L. Lima. (eds). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. pp: 37-61.
- Bernardo, S., A. A. Soares, e E. C. Mantovani. 2005. Manual de Irrigação. 7ª Ed. Viçosa-MG: Impressora Universitária, 611 p.
- Carvalho, O., e C. A. G. Egler. 2003. Alternativas de desenvolvimento para o Nordeste Semi-Árido. Ministério da Fazenda, Banco do Nordeste do Brasil. 204 p.
- Cavalcanti, M. L. F., P. D. Fernandes, H. R. Gheyi, G. B. Júnior, F. A. L. Soares, e E. C. da Siqueira. 2005. Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino. Ver. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental 9: 66-70.
- César, A. S., and M. O. Batalha. 2010. Biodiesel production from castor oil in Brazil: a difficult reality. Energy Policy 38: 4031-4039.
- Correia, K. G., P. D. Fernandes, H. R. Gheyi, L. N. Rodrigues, e A. R. Nery. 2005. Relações hídricas e produção em plantas de amendoim irrigadas com águas salinas. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb. 9: 86-89.
- Diamond, A. F. A. 2010. Cultivo del ricino una alternativa sustentable para el uso de suelos degradados. Rev. Virtual Época Ecol. Santa Cruz, Bolivia. 10 p.
- Doorenbos, J., y A. H. Kassan. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Riego y drenaje 33. Rome, Italia. 212 p.
- Allen, G. R., L. S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para determinación de requerimientos de agua de los cultivos. Riego y Drenaje 56. Rome, Italia. 322 p.
- Galo, P. G. 2008. Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de higuierilla (*Ricinus communis* L.). Cultivos Energéticos Alternativos. Universidad Católica del Ecuador, Ecuador. pp: 09-24.
- Nass, L. L., P. A. A. Pereira, and D. Eliss. 2007. Biofuels in Brazil: An overview. Crop Sci. 47: 2228-2237.

Plants that received water with low concentrations of salinity showed better development than those that received high salinity concentrations. In general, crops under saline stress have influenced the water extraction of the soil by the roots (Sausen and Rosa, 2010), which affects the plant physiological variables.

CONCLUSIONS

Water consumption of castor bean crop cv. BRS Energía is directly related to levels of salinity in the irrigation water; thus the consumption was higher with lower salinity. The average values of ET_o obtained by the method of grass lysimeter and by the indirect method of Hargreaves-Samani, were similar. Evapotranspiration results are related with visual data, whereby a high concentration of salts in the irrigation water reduces the plant growth.

—End of the English version—



- Nobre, C. A., D. Lapola, G. Sampaio, L. F. Salazar, M. Cardoso, e M. Oyama. 2007. Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. In: Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade-DCBio. CPTEC/INPE, IAE/CTA, São Paulo, Brasil. 29 p.
- Pohlmeier, A., A. Oros-Peusquens, M. Javaux, M. I. Menzel, J. Vanderborght, J. Kaffanke, S. Romanze, J. Lindenmair, H. Vereecken, e N. Shah. J. 2008. Changes in soil water content resulting from *Ricinus* root uptake monitored by magnetic resonant imaging. Vadose Zone J. 7: 1010-1017.
- Samayoa, M. O. C. 2007. Manual Técnico del Higuierillo. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA, Programa Agroindustria. El Salvador C. A. 17 p.
- Santos, R. F., M. A. L. Barros, F. M. Marques, P. T. de Firmino, e L. M. G. Requião. In: Azevedo, D. M. P. de, e E. F. Lima. 2001. O Agronegócio da mamona no Brasil: análise econômica. Embrapa Informação Tecnológica. Campina Grande-PB. pp: 17-35.
- Sausen, T. L., e L. M. G. Rosa. 2010. Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. Acta Bot. Brasilica 24(3): 648-654.
- Savy, A. F. 2005. Mamona tecnologia agrícola. Campinas-SP, Brasil. EMOF. 105 p.
- Silva, S. M. S., A. N. Alves, H. R. Gheyi, N. E. M. de Beltrão, L. S. Severino, e F. A. L. Soares, 2008. Desenvolvimento

e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb. 12: 335-342.
Velasco, L., P. Rojas-Barros, and J. M. Fernández-Martínez.

2005. Fatty acid and tocopherol accumulation in the seeds of a high oleic acid castor mutant. Ind. Crops Prod. 22: 201-206.