

ESTIMACIÓN DEL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.) EN LAS CONDICIONES DE QUÍBOR, ESTADO LARA, VENEZUELA

Jorge López¹ y Mike Dennett²

RESUMEN

Bajo las condiciones locales del sistema de producción de cebolla, en Quíbor, estado Lara, Venezuela, se realizaron estimaciones del uso total del agua. El estudio se llevó a cabo durante dos ciclos de crecimiento para los cultivares Texas Grano 438 y Utopía, tomando en cuenta la evapotranspiración por parte del cultivo de la cebolla y la evaporación directa del agua libre en los surcos. La evapotranspiración se estimó mediante el método original de Penman-Monteith, el cual permite la estimación directa de dicho valor sin el uso del coeficiente de cultivo. En el primer ciclo (abril-julio), el valor total de uso del agua para la cebolla osciló alrededor de 450 mm por ciclo para ambos cultivares, mientras que los valores diarios variaron entre 3,2 y 5,7 mm. En el segundo ciclo (julio-noviembre) el uso de agua fue menor. Los valores diarios de consumo de agua fueron siempre menores en la etapa inicial y final del cultivo. La evaporación directa del agua libre en el surco superó siempre a la ET del cultivo.

Palabras clave adicionales: Evaporación, evapotranspiración, riego

ABSTRACT

Water use estimation for onion (*Allium cepa* L.) crop under Quíbor conditions, Lara State, Venezuela

Under conditions of the onion production system, in Quíbor Lara State, Venezuela, estimates were made of total water consumption. The study was carried out during two cycles of growth for the cultivars Texas Grano 438 and Utopia, taking into consideration the evapotranspiration by the onion crop and the free evaporation of the water in the furrows. The evapotranspiration was estimated using the original Penman-Monteith method, which allows for the direct calculation of this value without using the crop coefficient. In the first season (April-July), the total value of water for the onions ranged about 450 mm per cycle for both cultivars, while the daily values ranged between 3.2 and 5.7 mm. In the second season (July-November) the use of water was lower. The daily consumption of water was always lower in the initial and final stages of the crop. The free evaporation of water directly from the furrow always exceeded the crop ET.

Additional key words: Evaporation, evapotranspiration, irrigation

INTRODUCCIÓN

El sistema de riego por surcos, utilizado en Quíbor, es al igual que en otros países el principal método para el cultivo de la cebolla (Rana y Sharma, 1994; Al-Jamal et al., 2001). Estos sistemas de riego utilizados en ambientes secos, donde la disponibilidad de agua es limitada elevan el costo de dicho recurso, lo que incide en los costos de producción del cultivo y en la viabilidad de esta actividad agrícola.

En la actualidad la falta de planificación del uso del agua, pone en evidencia la necesidad de

mejorar el sistema actual de aplicación a los cultivos (Solórzano y Grassi, 1988; Katerji y Rana, 2006) o el cambio de este por métodos más eficientes en el uso del agua (Rázuri et al., 2003). En la mayoría de casos el riego por surcos ha sido evaluado como poco eficiente, debido a las altas tasas de evaporación en campo y el uso excesivo de agua (Al-Jamal et al., 2001). En la zona de Quíbor, López y Dennett (2005) evaluaron dos métodos para estimar las necesidades de riego en función de la magnitud de la evapotranspiración.

En Venezuela, las evaluaciones del uso del agua en el riego tradicional por surcos se han

Recibido: Enero 23, 2007

Aceptado: Septiembre 28, 2007

¹ Dpto. de Ingeniería Agrícola, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: jorliam2001@yahoo.es.

² Universidad de Reading, UK. e-mail: m.d.dennett@reading.ac.uk.

basado en métodos indirectos de estimación de la evapotranspiración como la ecuación de Penman Monteith (P-M) y el método de la tina (clase A), bajo el enfoque de dos pasos de la FAO (Smith et al., 1992). En ambos casos los métodos no incluyen el efecto directo de la evaporación desde los surcos expuestos y por esto la cantidad total de agua utilizada por el sistema suelo-surco-cultivo puede estar subestimada. Además, su simplificación no permite determinar efectivamente la influencia del crecimiento del cultivo en la cantidad de agua utilizada como evapotranspiración.

La aplicación de métodos como la ecuación de Penman Monteith, utilizada bajo el enfoque de un paso de la FAO (Smith et al., 1992) constituye un método alternativo para evaluar la ET. Mediante la medición del valor de resistencias aerodinámicas y de cultivo, incluidas en el enfoque mencionado (Pereira et al., 1995), se toman en cuenta las características de la planta, representadas por el índice de área foliar y la altura así como las características aerodinámicas del ambiente inmediato de la misma, lo que permite la estimación directa de la ET y su variación en el ciclo de vida del cultivo (Pereira et al., 2006).

Los objetivos de este trabajo incluyen la aplicación del enfoque de un paso de la FAO para el cálculo de la ET real de la cebolla bajo condiciones de riego por surcos como es aplicado en Quíbor, estado Lara, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la hacienda El Caujaral en la zona semiárida de Quíbor, se llevaron a cabo estimaciones del uso del agua por parte del cultivo de cebolla, en el período entre abril y noviembre de 2001. Utilizando un sistema de riego por surcos cortos, se transplantaron los cultivares Texas Grano 438 y Utopía en hileras dobles a 0,90 m entre surcos y 0,10 m entre plantas en el período abril-julio. Posteriormente, se transplantó Texas Grano 438 en período julio-noviembre.

La evapotranspiración del cultivo se estimó mediante la aplicación de la ecuación de Penman Monteith en su forma original (Smith et al., 1992), tomando en consideración los valores de resistencia aerodinámica y de cultivo, además de los datos de temperatura, humedad relativa,

velocidad del viento y radiación solar, en la siguiente forma:

$$\lambda e = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho c_p (e_a - e_d) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)}$$

donde λe es el flujo de calor latente de evaporación ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), Rn es el flujo de radiación neta en superficie ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), G es el flujo de calor al suelo ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), P es la densidad atmosférica ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), C_p es el calor específico del aire húmedo ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$), $e_a - e_d$ es el déficit de vapor de agua (kPa), r_c es la resistencia de cultivo ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$), r_a es la resistencia aerodinámica ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$), Δ es la pendiente de la curva presión del vapor ($\text{kPa}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$) y γ es la constante psicrométrica ($\text{kPa}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$).

La Rn fue estimada con base a las ecuaciones de $R_n = R_{ns} + R_{nl}$ donde R_{ns} es la radiación neta de onda corta y R_{nl} es la radiación neta de onda larga, obtenidas a su vez como $R_{ns} = R_s (1 - \alpha)$ con R_s como radiación solar en $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ y α es el albedo de una superficie cultivada, mientras que $R_{nl} = -R_{ld} \downarrow + R_{lu} \uparrow = f(\epsilon_{vs}(\epsilon_a - 1)\sigma T_k^4 \approx f(\epsilon_a - \epsilon_{vs})\sigma T_k^4$ donde R_{nl} es la radiación neta de onda larga ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), $R_{lu} \uparrow$ la radiación térmica saliente emitida por la vegetación y el suelo hacia la atmósfera (flujo ascendente) ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), $R_{ld} \downarrow$ la radiación térmica entrante emitida por la atmósfera y la cubierta de nubes hacia la tierra (flujo descendente) ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), f el ajuste para la cubierta de nubes, ϵ_a la emisividad efectiva de la atmósfera, ϵ_{vs} la emisividad de la vegetación (0,99-0,94) y suelo (0,98-0,80), σ la constante de Stefan-Boltzmann ($4,90\cdot 10^{-9} \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}\cdot\text{d}^{-1}$) y T_k la temperatura media del aire (K).

El valor de G fue asumido como 0 para cálculos de 24 horas.

Los valores de la resistencia aerodinámica fueron estimados mediante un perfil aerodinámico (Hall, 2002) que incluyó registros de velocidad de viento (u) a 0,65; 2 y 3 m de altura utilizando anemómetros Campbell Scientific. Con este perfil, definido por:

$$u = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right)$$

se estimaron las variables aerodinámicas d (altura de desplazamiento), u_* (rugosidad) y z_0 (velocidad de fricción), las cuales permitieron la estimación de la resistencia aerodinámica entre una altura determinada en la cual la velocidad del viento es $u(z)$ y la altura $d+z_0$ donde el valor de u

extrapolado es 0, siguiendo la fórmula:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z-d}{z_o}\right)}{k u_*}$$

donde k es la constante de von Karman's igual a 0,41 y z la altura en metros (Monteith y Unsworth, 1990).

Para la resistencia de cultivo (r_c) se tomó en cuenta la fórmula propuesta por FAO (Allen et al., 1998):

$$r_c = \frac{r_e}{0,5 \cdot IAF}$$

donde IAF es el Índice de Área Foliar y r_e es el valor de la resistencia estomática

Los valores de resistencia estomática se midieron con un porómetro Licor Li-1600 entre las 8:00 y 18:00 a intervalos de dos horas en tres fechas diferentes durante el ciclo del cultivo, mientras que el IAF se estimó con base a mediciones semanales de longitud y ancho de las hojas de cinco plantas muestreadas en cada parcela experimental (Mondal et al., 1986).

Para las mediciones de la evaporación del agua de riego en los surcos, se asumió una relación directa con respecto a la pérdida de agua en una tina de evaporación clase A, localizada cerca del campo cultivado y a la superficie media del espejo de agua en el surco.

Los cálculos de consumo del agua por parte de los cultivares de cebolla, incluyendo la evaporación del agua de riego, se hicieron para las etapas propuestas por Doorenbos y Pruitt (1977) durante el período de crecimiento del cultivo, específicamente en las etapas inicial, desarrollo, media y final.

Para los cálculos se asumió que no hubo escasez de agua en las etapas inicial, desarrollo y media, por lo que la ET real obtenida no presentó limitación alguna. Para la etapa final no hubo riego y para el cálculo de la ET se consideró la cantidad de agua fácilmente disponible (AFD) luego del último riego en función de la capacidad de agua útil del suelo (20 % en volumen), la profundidad efectiva de las raíces (15 cm) y un coeficiente de agotamiento (ρ) de 0,3 (Allen et al., 1998). Luego de agotada la AFD, se estimó que habría una reducción de los valores de ET de la cebolla debido a las limitaciones de agua en la zona de la raíz en función de un coeficiente de estrés (k_s) igual a 0,5 (Allen et al., 1998).

Tomando en consideración el ancho correspondiente a los surcos sucesivos en el campo y a la presencia de agua libre en ellos hasta tres días después del riego (Figura 1) se realizó el cálculo ponderado del requerimiento del agua para la cebolla durante las diferentes etapas mencionadas, con base a la siguiente ecuación sugerida por CIDIAT (1994):

$$\text{Uso del agua} = \frac{(Et \text{ mm} \cdot 0,40 \text{ m}) + (Ev_s \text{ mm} \cdot 0,50 \text{ m})}{0,9 \text{ m}}$$

El primer término de la ecuación se corresponde a la evapotranspiración de la cebolla obtenida por medio de la metodología de un paso en cada etapa mientras que el segundo término corresponde a la evaporación de la superficie del agua en los surcos.

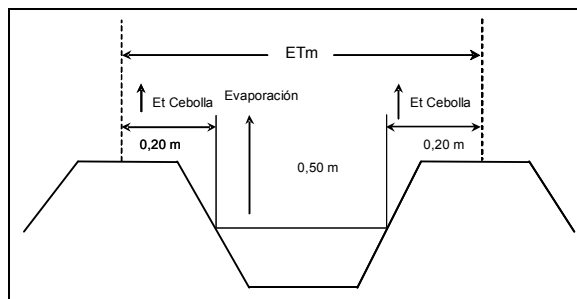


Figura 1. Uso total del agua por el cultivo de cebolla incluyendo la evapotranspiración de las plantas y la evaporación en los surcos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la etapa inicial del primer ciclo (abril-julio), el agua utilizada por el cultivo de cebolla, es decir, el valor total que corresponde a la suma ponderada de la evaporación y la evapotranspiración, mostró valores similares con $3,2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ para Texas Grano 438 y $3,3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ para Utopía (Cuadro 1). Sin embargo, la diferencia total en esta etapa entre ambos cultivares fue de 17,4 mm. El mayor valor para Utopía se explica con base en la diferencia de duración en la etapa inicial entre ambos cultivares. En esta etapa, el término de evapotranspiración incluido en la ecuación mostró menor valor que el de la evaporación del agua libre en el surco, indicando una menor contribución de la ET en el consumo total de agua por superficie de terreno en la etapa inicial que en las etapas sucesivas, debido a escaso tamaño de las plantas y la poca cobertura del suelo. Rana y Sharma (1994) encontraron un importante efecto de la evaporación en el cultivo de la cebolla en su etapa inicial.

Con respecto a la etapa de desarrollo, el uso del agua promedio diario fue mayor para Utopía con 5,1 mm en relación a Texas Grano 438 con un valor de 4,4 mm, mientras durante la etapa media el uso del agua por día fue muy similar, con valores entre 5,7 y 5,6 mm para las estimaciones en ambos cultivares.

La proporción de evapotranspiración de la cebolla con relación al valor total del uso del agua por parte de los cultivares durante las etapas de desarrollo y media aumentó debido al crecimiento de las plantas lo cual fue aumentando la cobertura sobre el suelo. Para la etapa final, los valores de evapotranspiración para ambos cultivares mostraron una disminución como resultado de la senescencia de las plantas y de la reducción en el número de riegos. Para la variedad Texas Grano 438 el consumo total en esta etapa fue de 113,3 mm mientras que para Utopía fue de 89,5 mm. En este caso, la menor duración de la etapa para el híbrido Utopía explica la diferencia en el consumo

total del agua entre ambos cultivares.

El total del uso de agua en el primer ciclo mostró un valor levemente mayor en el caso del híbrido Utopía, con 456,7 mm contra 447,1 mm para Texas Grano 438 (Cuadro 1). Estos valores son bastante similares al encontrado por Kruse et al. (1987) para cebolla bajo diferentes condiciones de riego en el estado de Colorado.

En el segundo ciclo (julio-noviembre) la variedad Texas Grano 438 presentó al igual que en el ciclo anterior una baja proporción de la evapotranspiración del cultivo en el valor total del uso del agua durante la etapa inicial (Cuadro 2), esto como resultado del poco crecimiento de las plantas al inicio del ciclo. Sin embargo, en este ciclo, la longitud de la etapa inicial para este cultivar fue mayor, con 29 días en relación a los 22 días en el ciclo anterior. El valor total de uso de agua fue de 83,9 mm de los cuales más del 80 % fue evaporación directa del agua de riego en los surcos.

Cuadro 1. Uso total del agua en cuatro etapas en el ciclo marzo-julio, incluyendo ET de la cebolla (Texas Grano 438 y Utopía) y evaporación del agua de riego (valores de ET de la cebolla en la última etapa incluyen 21 mm después del riego final)

Variedad	Etapas	Duración (días)	ET cebolla (mm)	Evaporación en el surco (mm)	Uso total del agua (mm) $((ET \cdot 0,4) + (Ev \cdot 0,5)) / 0,9$	Uso diario del agua (mm)
Texas Grano 438	Inicial	22	17,4	113,9	71,1	3,2
	Desarrollo	24	72,4	134,4	106,9	4,5
	Media	28	129,1	177,2	155,8	5,5
	Final	25	71,0 + 21,0	130,4	113,3	4,5
	Total	99	310,9	555,9	447,1	4,5
Utopía	Inicial	27	25,1	139,2	88,5	3,3
	Desarrollo	30	122,1	178,0	153,2	5,1
	Media	22	111,0	137,2	125,5	5,7
	Final	20	66,2 + 21,0	91,3	89,5	4,5
	Total	99	345,4	545,7	456,7	4,6

Cuadro 2. Uso total del agua en cuatro etapas en el ciclo julio-noviembre, incluyendo evapotranspiración de la cebolla (Texas Grano 438) y evaporación del agua de riego (valores de ET de la cebolla en la última etapa incluyen 14,7 mm después del riego final).

Etapas	Duración (días)	ET Cebolla (mm)	Evaporación en el surco (mm)	Uso total de agua (mm) $((ET \cdot 0,4) + (Ev \cdot 0,5)) / 0,9$	Uso diario del agua (mm)
Inicial	29	29,5	127,5	83,9	2,9
Desarrollo	32	103,6	154,9	132,1	4,1
Media	24	95,3	107,4	102,2	4,3
Final	14	8,0 + 14,7	54,2	40,2	2,9
Total	99	251,1	416,9	343,3	3,5

En la etapa de desarrollo y media se apreció, al igual que en el primer ciclo, un incremento en la proporción de la evapotranspiración del cultivo sobre el uso total del agua, situación reportada por Prashar et al. (1994) para la fase de bulbificación correspondiente temporalmente con las mencionadas etapas. Los valores promedio diarios fueron de 4,1 mm en la etapa de desarrollo y 4,3 mm en la etapa media. En este caso, la longitud de duración de cada etapa explica el resultado en términos del uso diario del agua por parte de la variedad Texas Grano 438.

Al final del ciclo, durante la etapa final, el valor total fue 40,2 mm y el valor diario promedio de uso del agua por la variedad Texas Grano 438 fue 2,9 mm, lo cual es menor que el registro en el ciclo anterior. Esta diferencia también se asocia a la menor longitud de la etapa en el segundo ciclo ya que la bulbificación ocurrió en forma tardía aproximadamente a los 65 días después del transplante (Brewster, 1997).

Por esta razón, los bulbos no habían alcanzado la madurez total cuando se realizó la cosecha del ensayo a los 99 días después del transplante. Por el contrario, Asgrow (1995) menciona que esta variedad alcanza pronto la madurez cuando es transplantada entre febrero y mediados de abril (lo cual se corresponde con el primer ciclo), época que determina la madurez temprana de la cebolla.

El valor total del uso del agua durante el segundo ciclo para Texas Grano 438 igual a 343,3 mm, fue menor que los 447,1 mm calculados para la misma variedad, trasplantada al principio de abril (primer ciclo). Estas diferencias entre ciclos, usando el mismo cultivar, se atribuyen a la variación de los factores meteorológicos y del cultivo, los cuales tienen incidencia en los requerimientos de agua por parte de la cebolla en diferentes periodos durante el año. En el segundo ciclo, para el caso del factor climático se pudo apreciar una disminución de los valores de velocidad del viento y en el caso de la planta hubo mayor valor de resistencia del cultivo (r_c) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores promedio de velocidad del viento y resistencia de cultivo (r_c) en dos variedades de cebolla durante dos ciclos en la zona Quíbor, estado Lara

Ciclo mazo-julio			Ciclo julio-noviembre	
Viento ($m \cdot s^{-1}$)	r_c ($s \cdot m^{-1}$)		Viento ($m \cdot s^{-1}$)	r_c ($s \cdot m^{-1}$)
	Texas Grano 438	Utopía		Texas Grano 438
3,22	312	329	1,93	386

CONCLUSIONES

En el primer ciclo (abril-julio), el valor total de uso del agua para la cebolla se aproximó a 447 y 457 mm por ciclo para la variedad Texas Grano 438 y el híbrido Utopía, respectivamente. En general, los valores diarios oscilaron entre 3,2 y 5,7 mm.

En el segundo ciclo (julio-noviembre) el uso de agua fue menor, con un valor de 343,3 mm para Texas Grano 438.

Los valores diarios de consumo de agua fueron siempre mayores en las etapas de desarrollo y media, y la evaporación directa del agua libre en el surco superó siempre a la ET del cultivo.

LITERATURA CITADA

1. Al-Jamal, M., S. Ball y T.W. Sammis. 2001. Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. *Agricultural Water Management* 46: 253-266.
2. Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper* 56. FAO. Rome. 300 p.
3. Asgrow. 1995. Manejo de la producción de cebollas de días cortos: Informe Agronómico. Kalamazoo, Michigan. 10 p.
4. Brewster, J.L. 1997. Onions and garlic. In: *The Physiology of Vegetable Crops*. H.C. Wien (ed.). Cambridge University Press. Cambridge. UK. pp. 581-619.
5. CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras). 1994. Evaluación de métodos de riego en el valle de Quíbor,

- Lara, Venezuela. CIDIAT. Mérida. 149 p.
6. Doorenbos, J. y W. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Rome. 144 p.
7. Hall, R. 2002. Aerodynamic resistance of coppice poplar. Agricultural and Forest Meteorology 114: 83-102.
8. Katerji, N. y G. Rana. 2006. Modelling evapotranspiration of six irrigated crops under Mediterranean conditions. Agricultural and Forest Meteorology 138: 142-155.
9. Kruse, E., J. Ellis y A. Mcsay. 1987. Comparison of two onion irrigation scheduling programs. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 738-742.
10. López, J. y M. Dennett. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_0) en una zona semiárida de Venezuela. Bioagro 17(1): 41-46.
11. Mondal, M., J. Brewster, G. Morris y H. Butler. 1986. Bulb development in onion (*Allium cepa* L.) III. Effects of the size of the adjacent plants, shading by neutral and leaf filters, irrigation and nitrogen regime and the relationship between the red:far-red spectral ratio in the canopy and leaf area index. Annals of Botany 58: 207-219.
12. Monteith, J. y M. Unsworth. 1990. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold. London. 291 p.
13. Pereira, R., N. Villa Nova, A. Soares y V. Barbieri. 1995. A model for the class A pan coefficient. Agricultural and Forest Meteorology 76: 75-82.
14. Pereira, R., S. Green y N. Villa Nova. 2006. Penman Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration. Agricultural Management 83: 153-161.
15. Prashar, C., C. Govind y G. Mohamadou. 1994. Evapotranspiration of onion in Sahelian Niger. Expl. Agric 30: 473-476.
16. Rana, D. y P. Sharma. 1994. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on bulb yield and water use of onion (*Allium cepa*). Indian Journal of Agricultural Sciences 64: 223-226.
17. Rázuri, L, E. Romero, A. Galindo y J. Rosales. 2003. Evaluación del funcionamiento de un sistema de riego localizado bajo la modalidad de cinta de goteo. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, CIDIAT. Mérida. 290 p.
18. Smith, M., R. Allen, J. Monteith, A. Perrier, L. Pereira y A. Segeren. 1992. Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. FAO. Rome. 54 p.
19. Solórzano, G. y C. Grassi. 1988. Evaluación del riego por surcos en San Juan de Lagunillas, estado Mérida. Agronomía Tropical 38(1-3): 47-72.