



NOTA CORTA [SHORT NOTE]

RÉGIMEN HÍDRICO DEL MAÍZ EN UNA ZONA ÁRIDA,
DETERMINADO EN PORCENTAJES DE EVAPORACIÓN

[WATER REGIME OF CORN IN A DRY AREA, IN PARTICULAR
RATES OF EVAPORATION]

Sergio Zamora-Salgado¹, Francisco Higinio Ruiz-Espinoza^{1**},
F. Alfredo Beltrán-Morales¹, ††Liborio Fenech-Larios¹,
Bernardo Murillo-Amador², José Loya-Ramírez¹, Enrique Troyo-Diéguez²

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur Km. 5.5 C.P.
23080. La Paz, Baja California Sur, México. E-mail: fruiz@uabcs.mx,
fruiresp@gmail.com; fax 052- 612-1238800; Phone 052-612-1238800

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo No. 195, Col.
Playa Palo de Santa Rita. La Paz, Baja California Sur, México.

*Corresponding Author

RESUMEN

La importancia del agua en la producción de alimentos obliga a utilizarla con mayor eficiencia. El Estado de Baja California Sur es característico de las zonas semiáridas: escasez de agua, variación interanual de la precipitación y acuíferos sobreexplotados. El objetivo de la investigación fue determinar el porcentaje de la evaporación para calcular los requerimientos hídricos del maíz. Se sembró el 14 de diciembre de 2004 en el campo agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur que se ubica en los 24° 10' LN y 110° 19' LW. La textura del suelo es migajón arenosa, con una capacidad de campo d 13%, un punto de marchites de 7.4% y densidad aparente de 1.6 gr cm⁻³. La calidad del agua de riego es C₄S₂. Los tratamientos fueron 70, 85, 100 y 115 por ciento de la evaporación medida en el tanque evaporímetro tipo "A". El testigo fue la lámina calculada por el método de Blaney y Criddle: 492.25 mm. La evaporación durante el periodo de cultivo fue de 712 mm. El mayor rendimiento, 9.271 t ha⁻¹, se obtuvo con el 100% de la evaporación, y la mayor productividad del agua 2.96 kg m⁻³, con el 85%.

Palabras claves. Evaporación; productividad del agua; método de Blaney y Criddle

INTRODUCCIÓN

Toda vez que el agua es una de las limitantes fundamentales que condiciona el desarrollo de la agricultura, el adecuado conocimiento de los requerimientos hídricos de los cultivos permite inferir las posibilidades de evolución favorable de los mismos en condiciones de humedad residual para una zona dada, cuando los demás factores no resultan excluyentes. Posibilita asimismo evaluar la cantidad de

SUMMARY

The importance of water in food production requires more efficiently used. The State of Baja California Sur is characteristic of the semi-arid: scarcity of water, variation of precipitation and overexploited aquifers. The objective of this research was to determine the rate of evaporation to calculate the water requirements of maize. Was planted on 14 December 2004 in the agricultural field of the Autonomous University of Baja California Sur is located within 24° 10' N and 110° 19' LW. Soil texture is sandy loam with a field capacity d 13%, wilting point of 7.4% and bulk density of 1.6 g cm⁻³. The quality of irrigation water is C₄S₂. The treatments were 70, 85, 100 and 115 percent of the evaporation measured in the evaporation tank type "A". The witness plate was calculated by the method of Blaney and Criddle: 492.25 mm. Evaporation during the culture period was 712 mm. The highest yield, 9.271 t ha⁻¹, was obtained with 100% evaporation, and increased water productivity of 2.96 kg m⁻³, with 85%.

Keys word: Evaporation; water productivity; method Blaney and Criddle

agua que no es satisfecha por las precipitaciones y que para el logro de buenos rendimientos sería necesario proveer mediante riegos suplementario. De igual modo, brinda valiosa información para establecer los volúmenes de agua que deben suministrarse en las zonas áridas, donde sólo es posible obtener cosechas mediante el riego integral, constituyéndose en un elemento indispensable para una adecuada planeación de la actividad agrícola en las diversas zonas (Churin, et al 1981).

Por lo anterior, para una adecuada planeación de la actividad agrícola, es fundamental la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos para enfrentar el problema de la disponibilidad de agua en la producción agrícola.

La disponibilidad de agua de buena calidad para la producción agrícola es una limitante para el desarrollo sostenible de la actividad agrícola. Howell *et al.*, (1997) mencionan que la microirrigación tiene potencial para minimizar las pérdidas por evaporación, escurrimiento y percolación: que mejora el control del riego con pequeñas pero frecuentes aplicaciones y que provee los nutrientes que los cultivos necesitan e incrementa la producción con base en la eficiencia del uso del agua.

La eficiencia en el uso del agua es definida según Lamm, (2001), como el rendimiento de granos de maíz, entre el total de agua utilizada. Por su parte Tate, (2004) señala que el concepto de “uso eficiente” incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua.

Para favorecer el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua y a su vez lograr una mayor eficiencia en el uso de ella, es necesario estimar la evapotranspiración de los cultivos mediante diferentes métodos, según Doorenbos y Pruitt (1977), señalan que existen diferentes métodos para estimar la Evapotranspiración de los cultivos, siendo el tanque evaporímetro tipo “A”, un *método* puede considerarse confiable cuando se ubican en un buen emplazamiento y hay vientos débiles. Tijerina (2000) menciona que se han tenido resultados satisfactorios debido a que integra el efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad para un lugar específico, a la vez que puede utilizarse para estimar la ET en los sistemas de riego localizados de alta frecuencia. La ecuación de Blaney-Criddle es uno de los métodos más ampliamente utilizados en zonas donde solamente se dispone de datos sobre la temperatura del aire (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Los datos medidos en las estaciones experimentales del Estado de Baja California Sur (B.C.S.) son indicativos de las características típicas de las zonas semiáridas: escasez de agua y la variación interanual de la precipitación, siendo una de las entidades más áridas de México (Beltrán, 2006). Por su parte, Flores (1998) señala que en B.C.S. la única fuente de agua dulce es la subterránea, disponible en acuíferos, varios de los cuales se encuentran sobre-explotados, provocando su abatimiento y en consecuencia el fenómeno irreversible de intrusión salina, lo que constituye una limitante en la calidad del agua para la sociedad y para el desarrollo sostenible de la actividad

agrícola. La limitante en la calidad del agua y sobretodo el consumo de cereales secundarios donde se incluye al maíz, se ha incrementado rápidamente, impulsado por el uso creciente como forraje en los países en desarrollo. En el futuro, su consumo puede crecer con mayor rapidez que el del arroz o el trigo (FAO 2002).

El maíz es uno de los cereales más importantes para el consumo humano y animal, como grano y forraje. La producción mundial es alrededor de 638 millones de toneladas de grano en aproximadamente 143 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2003). Geraldo, 2004, registra que la superficie promedio anual de maíz en el Valle de Santo Domingo Baja California Sur, es de 4,500 ha, con un rendimiento promedio de 5.8 t ha⁻¹.

El rendimiento promedio, de 6 a 9 t ha⁻¹ en condiciones de riego, se considera aceptable desde la óptica de la producción comercial, bajo una condición del contenido de humedad del grano de 10 a 13%. Bajo las condiciones de Baja California Sur, la eficiencia de uso del agua para la producción de grano varía entre 0.8 y 1.6 Kg m³ (FAO AGL 2002). Entre los cereales, el maíz es un cultivo eficiente en el uso del agua en términos de la producción total de materia seca y potencialmente es el grano con mayor rendimiento.

Al considerar el maíz como el grano con mayor rendimiento, para obtener una cosecha cuyo grano tenga una madurez media, se requieren entre 500 y 800 milímetros (mm) de agua, (FAO AGL 2002). En este sentido, Benham (1996) señaló que para una variedad de maíz de 120 días, en la zona central sur de Nebraska, USA, el requerimiento de agua es de 619 mm. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 1988), en Baja California Sur recomienda 540 mm de lámina para variedades precoces y 620 mm para variedades tardías.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el porcentaje de la evaporación como lámina a reponer, para satisfacer los requerimientos de agua para el cultivo del maíz, utilizando el modelo del tanque evaporímetro tipo “A”.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), en el municipio de La Paz. La localidad se sitúa en las coordenadas 24° 10' N y 110° 19' W, al sur del Estado.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1981) para el país, la ciudad de La Paz, por sus condiciones de temperatura y

precipitación, presenta un clima BW (h^*) h_w (e), lo que se interpreta como clima seco, desértico y cálido. La temperatura promedio anual es de 29.6 °C, siendo el promedio de temperaturas máximas de 36.0° C y el de mínimas de 18.1° C; los valores máximos ocurren en el mes de julio y los mínimos en el mes de enero. En promedio recibe una precipitación total anual de 184.8 mm. La evaporación potencial excede ampliamente la precipitación, generando un déficit de agua de alrededor de 2472 mm anuales (INEGI, 2006) y una humedad relativa promedio de 62 % mensual, mientras que la insolación diaria promedio es de 12 horas.

Los estudios se realizaron en un agroecosistema establecido en un suelo Yermósol Háptico, según la clasificación de suelos FAO-UNESCO (2000). Dicho suelo está sustentado sobre rocas del tipo areniscas y graníticas, con drenaje adecuado, de textura migajón arenosa, ligeros y profundos (hasta 120 cm), de colores claros y sin horizontes definidos. Son suelos con baja capacidad de retención de humedad, estructura granular porosa, baja capacidad de intercambio catiónico, alto contenido de calcio, muy bajo contenido de materia orgánica (0.22 %), baja fertilidad, nivel muy bajo de nitrógeno (0.007 – 0.034 %), nivel mediano de fósforo (3 – 3.8 mg kg⁻¹) y nivel bajo de potasio (30 - 85 mg kg⁻¹). En cuanto a la salinidad, estos suelos presentan una conductividad eléctrica (CE) de 2.5 dS m⁻¹ a 25° C; por su parte, la calidad del agua es clasificada como C₄S₂.

El cultivar de maíz evaluado fue *Pionner* 30G40; la siembra se realizó el 14 de diciembre de 2004. La población establecida fue de 62,500 plantas ha⁻¹ en parcelas experimentales de 96 m², constituidas por 4 surcos de 5 m de largo y 3,2 m de ancho, con un arreglo topológico de 4 hileras de plantas con separación entre hileras de 0,8 m y entre plantas de 0,2 m. La fecha de cosecha se inició en abril 30 de 2005. El diseño experimental que se utilizó fue de bloques completamente al azar con arreglo en franjas con seis repeticiones por tratamiento que se describen en la Tabla 1.

El riego aplicado en los tratamientos fue con base a la información de la evaporación medida en el modelo del Tanque Evaporímetro tipo “A” por los porcentajes de ésta: 70, 85, 100 y 115%. El testigo fue la lámina calculada por el método de Blaney y Criddle.

Tabla 1. Criterios de riegos utilizados y suministro de agua en maíz en La Paz Baja California Sur.

Tratamientos	
T1	70% Evaporación
T2	Blaney-Criddle
T3	85% Evaporación
T4	100% Evaporación
T5	115% Evaporación

El fertirriego del cultivo fue suministrado una dosis de N (160-60-60), lo que se aplicó una tercera parte a la siembra de N (53.33) y el total de P y K con Triple 17. La dosis complementaria de N (Urea) fue semanal hasta completar el desarrollo del cultivo. El requerimiento para el control de plagas, no fue necesario, esto debido a la fauna benéfica que fue la ayuda para la poca presencia de gusano cogollero.

En cada parcela se colocó un recipiente con capacidad de un m³ a dos metros de altura, para aplicar el agua de riego con cinta de goteo T-Tape calibre 5000, los días lunes, miércoles y viernes de cada semana. 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. Mediante el método Blaney-Criddle los requerimientos de agua se calcularon con base a datos de temperatura, fotoperiodo y coeficientes de cultivo. En el caso del modelo del Evaporímetro los riegos se calcularon con los valores de evaporación y los porcentajes mencionados. Los datos de evaporación se obtuvieron del Observatorio Meteorológico de la CNA en la Cd de La Paz B.C.S. El análisis estadístico se realizó con el programa MINITAB 13.2, la comparación de medias fue con el método de Tukey a un nivel de significancia P≤0.05

El suministro de agua al cultivo mediante el riego a través de la lámina total aplicada a los distintos tratamientos varió de acuerdo a la evaporación, debido a la interacción de los tratamientos con el clima y la superficie de humedecimiento (50%). Las láminas de riego estimadas y las láminas aplicadas se muestran en la Tabla 2; la lamina de riego aplicada fue mayor en el T5 (409.4 mm) que fue el testigo, mientras que la menor fue el T2 (246.1mm).

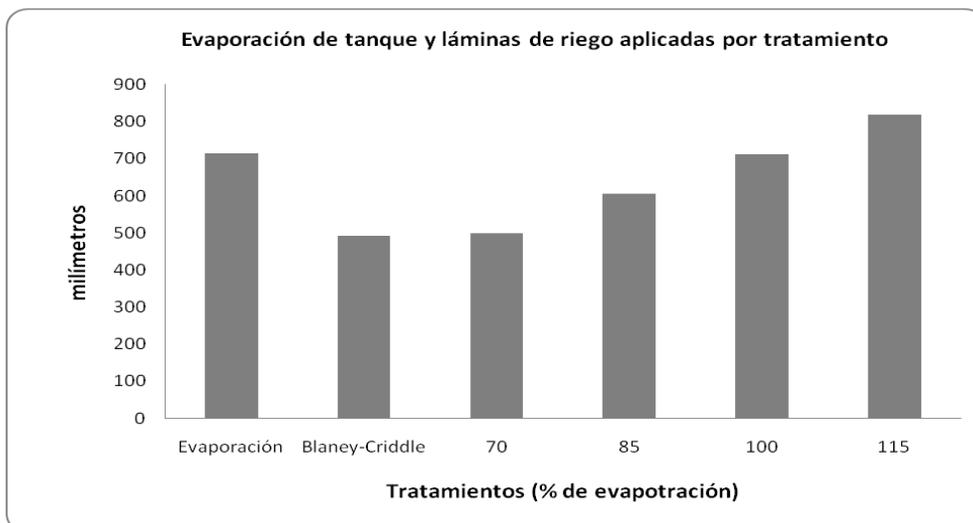


Figura 1. Evaporación y láminas de riego aplicadas en el cultivo de maíz durante el ciclo de producción en una zona árida de Baja California Sur, México.

Tabla 2. Lamina de agua estimada, aplicada y volumen aplicado en la producción de maíz.

Tratamientos	Lámina estimada (mm)	Lamina aplicada	Volumen aplicado $m^3 ha^{-1}$
T1	498.40	249.2	2492
T2	492.25	246.1	2461
T3	605.20	302.6	3062
T4	712.00	356.0	3560
T5	818.80	409.4	4094

La relación entre el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua generó diferencias entre los tratamientos (Tabla 3); el valor máximo en rendimiento se presentó en el T4. Con un 2 % mayor al T3 y 35% respecto al T2 que fue el de menor rendimiento. El valor máximo de productividad del agua fue de $2.96 kg m^{-3}$ en T3, con 12 % mayor respecto al T4, el ahorro del agua fue de 36 % mayor en el T3 respecto al T5, que fue el de mayor suministro de agua (409.4mm) y el de menor productividad del agua (Figura 2).

Los resultados obtenidos son de suma relevancia, dadas las condiciones hidroclimáticas del área de estudio, donde el agua es un factor limitante para el desarrollo agrícola, por lo que es prioridad, el incrementar las utilidades por metro cúbico de agua utilizado, por lo que el T3, es el que mayor impacto tendrá en la zona.

Tabla 3. Rendimiento y productividad del agua para el cultivo de maíz en la Paz, Baja California Sur, México.

Tratamientos	Rendimiento $t ha^{-1}$	Productividad del agua $Kg m^{-3}$	
T1	6.814	2.73	c d
T2	6.061	2.46	d
T3	9.049	2.96	a b
T4	9.271	2.60	a
T5	7.792	1.9	b
			c

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

Los resultados coinciden con Klocke *et al.*, (1996), quienes señalan que el agua aplicada más allá de la ET, no necesariamente se traducirá en mayor rendimiento. Algo similar resultó con el T5, que fue el de la mayor lámina (Figura 3). Esto posiblemente fue a las condiciones del terreno, que a una profundidad de 60 cm se encuentra un estrato aproximadamente de 20 cm de arena gruesa, lo que provoca que el agua en exceso se drene y ésta no pueda ser aprovechada por el cultivo.

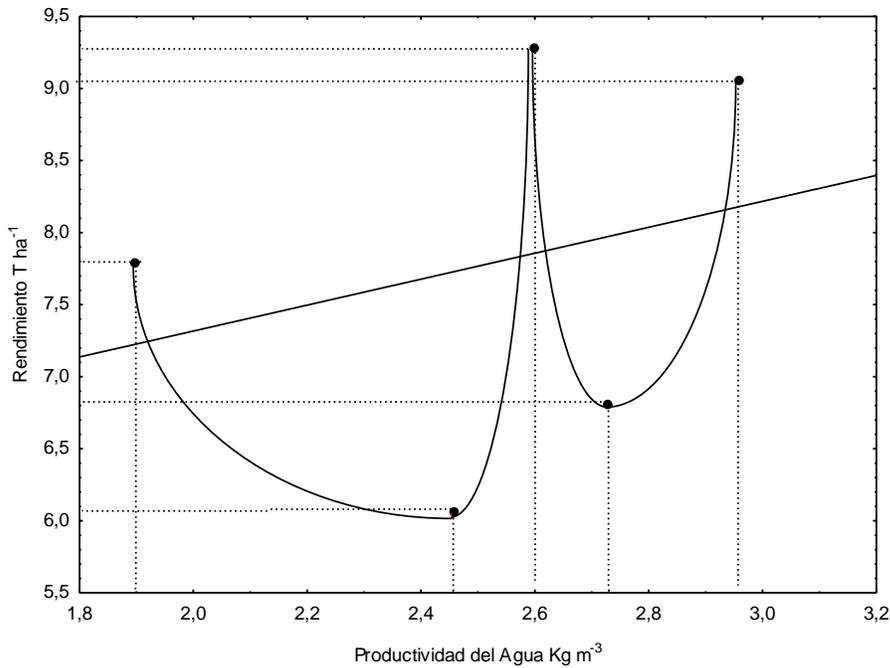


Figura 2. Rendimiento y productividad del agua en el cultivo de maíz en una zona árida de Baja California Sur, México.

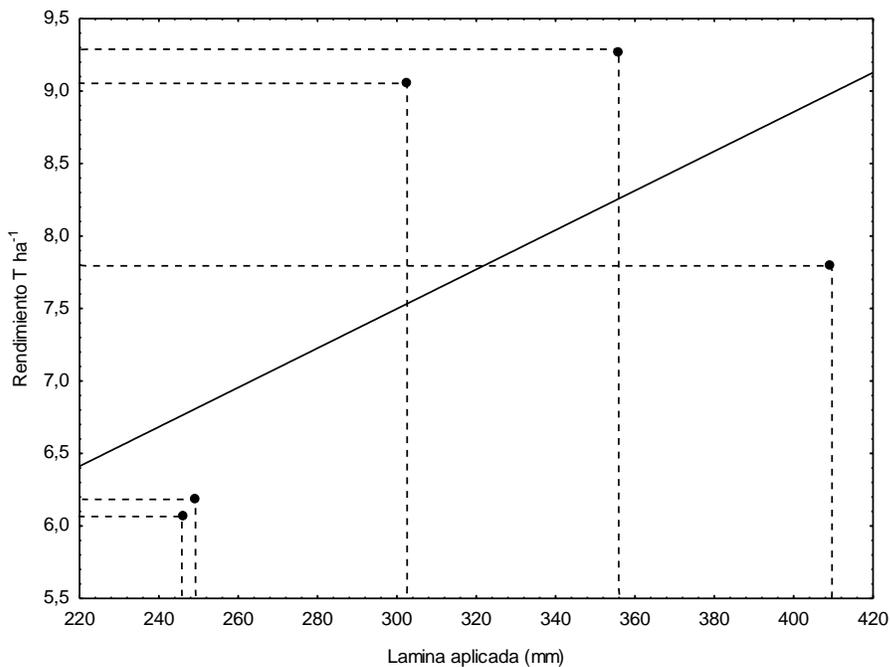


Figura 3. Rendimiento y lámina de riego aplicada en el cultivo de maíz en una zona árida de Baja California Sur, México.

Con respecto a las necesidades hídricas del maíz reportadas en literatura, a excepción de Yauli G. (1999) la mayoría coincide con lo señalado por la FAO, (2002), donde se señala que el maíz requiere entre 500 y 800 milímetros de agua. En los resultados obtenidos, la mayor lámina aplicada fue de 409 mm, lo que implica que aún con ésta, se está por debajo del

límite inferior que enuncia la FAO, (2002), en lo referente a la eficiencia en el uso del agua. Por su parte, Neulfeld, *et al*, (2004) indicaron que con la aplicación del riego por goteo subterráneo, se obtuvieron producciones máximas en maíz cuando se aplicó un riego que sustituyó el 75% de la evaporación.

CONCLUSIONES

Se ratifica lo señalado por Tijerina, 2000 referente a la metodología empleada para el cálculo de las láminas de riego basado en el modelo del Tanque Evaporímetro Tipo "A", en los sistemas localizados de alta frecuencia. Con la lamina calculada al utilizar el porcentaje de evaporación de 100% se obtuvo el mayor rendimiento (9.271 t ha⁻¹); sin embargo, no se reflejó como la mejor respuesta en la eficiencia en el uso del agua. El porcentaje que mejor efecto mostró fue el de 85%, con 2.96 Kg m⁻³. Por las condiciones agroclimáticas y disponibilidad de agua que prevalecen en Baja California Sur, debe programarse adecuadamente el uso del agua al establecer una siembra de maíz: obtener más rendimiento o mayor productividad con relación al uso del agua.

REFERENCIAS

- Beltrán-Morales, F.A. 2006. Sistemas de Labranza e incorporación de abono verde (lab lab purpureos) sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas en un yermosol aplico. Tesis de doctorado. CIBNOR, México.
- Benham, B. L.. *Irrigation corn*. Neb Guide G98-1354-A. Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska-Lincoln. USA.
- Churin, D.; Arosio, H.; García, M. 1981. Las Necesidades Hídricas en la Agricultura Chaqueña. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrig. Drain. Pap.*, 24, 144 pp. FAO. Roma, Italia.
- FAO 2002 Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s00.htm#TopOfPage>.
- FAO AGL 2002. Maize crop water management. FAOSTAT,2003.<http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain>.
- García, E., 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Geraldo M. J.B. 2004. Producción de maíz en labranza de conservación con riego presurizado. El INIFAP en Baja California Sur: Aportaciones a los sectores agrícola, pecuario y forestal. Fundación INIFAP B.C.S.
- Howell, T.A., J.L. Steiner, A.D. Schneider, and S.R.Evett. 1995. Evapotranspiration of irrigated winterwheat southern high plains. *Transactions of the ASAE*, 38 (3): 745-759.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. Síntesis geográfica del Estado de Baja California Sur.
- INIFAP- 1988 *Paquetes Tecnológicos de Cultivos*. Campo Experimental del Valle de Santo Domingo., SAGAR-INIFAP-CIRNO, México.
- Klocke, L.N 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.
- Neufeld Jerry, Davison Jason. Stevenson Tim., 2004. Subsurface drip irrigation. Cooperative Extension. University of Nevada, RENO. <http://www.unce.unr.edu/publications/FS97/FS9713.pdf>.
- Tate D.M. Principios del uso eficiente del agua. 2004. www.unesco.org/phi/libros/uso.eficiente/cap.2.html.
- Tijerina Ch.L. 2000 requerimientos Hídricos de Cultivos bajo sistemas de fertirrigación. Terra Volumen 17 numero 3.
- Vermeiren L., Jobling G.A. 1986. Riego Localizado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Riego y Drenaje 36.
- Yauli G. 1999. Cálculo de las Necesidades Hídricas para el Cultivo del Maíz en la Zona de Latacunga. [www.utc.edu.ec/AlmaMater/Revista 6](http://www.utc.edu.ec/AlmaMater/Revista6).

*Submitted May 28, 2010– Accepted August 21, 2010
Revised received August 24, 2010*