

DETERMINACION DE LAS NECESIDADES HIDRICAS DE TRES HIBRIDOS DE MAIZ (*Zea mays* L.) BAJO EL EFECTO DE TRES DISTANCIAMIENTOS ENTRE HILERA

G. Vásconez¹, A.M. Calvache², G. Díaz³ y F. Sabando³

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Unidad de Investigación Científica y Tecnológica. Correo electrónico: gvasconez@uteq.edu.ec

² Universidad Tecnológica Equinoccial. Unidad de Posgrado. Correo electrónico: calvache@uio.satnet.net

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Unidad de Investigación Científica y Tecnológica.

INTRODUCCION

Los procesos de crecimiento y desarrollo de una misma especie vegetal varían con la latitud de la región de producción, debido a la posición del sol con respecto a la superficie terrestre y la inclinación del eje de rotación del planeta con respecto al sol, la cual cambia durante el año, de tal manera que la temperatura, la cantidad de luz, la precipitación y la humedad relativa de una región será mayor o menor dependiendo la época; así mismo, las especies vegetales han adaptado sus necesidades de temperatura, luz y humedad de acuerdo a la latitud de su hábitat (SEP, 1991).

El rendimiento de los cultivos es fuertemente dependiente de la disponibilidad de agua presente en suelo y de los elementos que esta le provee; cultivos que cuentan con una adecuada disponibilidad de agua en el suelo evapotranspiran a su máxima capacidad, alcanzando altos rendimientos en caso de no tener otro tipo de limitaciones. De acuerdo a Calvache (1998), los cultivos durante su ciclo consumen una gran cantidad de agua, pero cerca del 98% de este volumen de agua solamente pasa por la planta y se pierde en la atmósfera por el proceso de transpiración. Sin embargo, este flujo de agua es necesario para el desarrollo vegetativo de los cultivos. Así, la medición de la humedad del suelo es importante para estimar la disponibilidad de agua para las plantas y poder determinar el momento oportuno para regar o drenar (Calvache y Reichardt, 1996; Castro *et al.*, 2004).

El maíz (*Zea mays* L.) manifiesta una sensibilidad diferenciada a la sequía de acuerdo a su ciclo vegetativo. Si la sequía ocurre alrededor de la floración, se produce mermas importantes en el rendimiento de la cosecha (Shaw, citado por Caseres *et al.*, 2006). El rendimiento del maíz se torna altamente dependiente de la disponibilidad hídrica en un periodo comprendido entre los 15 días antes y 21 días después de la floración (Robins y Domingo, citados por Caseres *et al.*, 2006), de manera que es necesario evitar la coincidencia de la sequía con los momentos de máxima demanda hídrica del cultivo de maíz.

A partir de un balance hídrico es posible cuantificar la humedad que existe en el suelo para el desarrollo de un cultivo, el agua consumida por la planta en cada etapa de desarrollo, e incluso determinar, la asociación de prácticas agrícolas con la disponibilidad de humedad y el potencial productivo de los sistemas agrícolas. Adicionalmente, con el balance hídrico se pueden generar índices de humedad para representar si la planta estuvo expuesta a estrés hídrico o señalar el grado de deficiencia de humedad durante el ciclo del cultivo (Calvache y Reichardt, 1996; Flores y Ruíz, 1998).

Desde el punto de vista hidrológico, sólo es posible establecer balances de agua en el suelo si se tiene información fiable de la variación de la humedad, y por tanto, de la variación del almacenamiento en el perfil considerado. Por otra parte, esta información es imprescindible si se quiere obtener valores experimentales de la tasa de evapotranspiración de un determinado cultivo (Calvache y Reichardt, 1996; Tuñón *et al.*, 1999). Existen diversas metodologías para la determinación de la humedad, entre ellas, las más clásicas son sin duda, las gravimétricas y la sonda de neutrones; la primera de ellas es operacionalmente sencilla pero destructiva, de manera que no es posible determinar la variación de la humedad en un mismo punto, mientras que la sonda de neutrones es costosa y requiere de personal altamente especializado (Calvache, 1998; Fabregat *et al.*, 1999).

En los últimos años se han desarrollado sensores basados en técnicas de capacitancia (FDR: frequency domain reflectometry o TDR: time domain reflectometry), es decir, basados en la medida de la constante dieléctrica del conjunto suelo-aire-agua. A partir de la medida de polarizabilidad eléctrica del sistema, se puede inferir el contenido relativo de agua. Este tipo de medida proporciona un medio rápido, estable y razonablemente fiable del grado de humedad en el suelo (Fabregat *et al.*, 1999; Zúñiga, 2004).

Sobre esta base, se presenta el trabajo de investigación titulado: “Determinación de las necesidades hídricas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.), bajo el efecto de tres distanciamientos entre hileras”, con el objeto, de determinar las necesidades de agua de tres híbridos de maíz en cada una de sus etapas fenológicas, en la localidad de Quevedo durante la época lluviosa.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en la Finca Experimental La María, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, geográficamente ubicada dentro de las coordenadas 79° 29' de longitud oeste, y 01° 06' de latitud sur, a una altura de 73 msnm. La temperatura media anual registrada durante el periodo 2004 – 2008, fue de 24,38 °C, con una temperatura mínima de 21,56 y máxima de 29,32 °C; la humedad relativa fue de 85,83%, con una humedad relativa mínima de 62,67 y máxima de 98,33%; la precipitación anual fue de 1541,30 mm, el 93,53% de la precipitación registrada correspondió a la época lluviosa (enero a junio) y el porcentaje restante a la época seca; y la evaporación fue de 912,50 mm.

Las parcelas experimentales se establecieron sobre un suelo uniforme y profundo, es decir sin la influencia de pendientes cercanas, con contenidos medios de arcilla, limo y arena de 22, 54 y 24%, respectivamente, no observándose diferencias claras de textura a los 20, 40 y 60 cm de profundidad, perteneciendo a la clase textural Franco Limoso cada uno de los tres estratos (Cavazos, 1992); debido a la proporción de partículas minerales, se trata de un suelo con una gran porosidad y una elevada capacidad de retención de agua durante la época estival, dando al suelo propiedades altamente productivas (Buckman y Brady, 1977; Rucks *et al.*, 2004).

La fertilización de las parcelas experimentales se la realizó sobre la base de un análisis de suelo, considerando un perfil de 0 a 20 cm, el cual arrojó una disponibilidad de N y P de 11,00 y 13,00 ppm; de K, Ca y Mg de 0,2, 2,0 y 1,1 cmol₍₊₎ kg⁻¹; y de S, Zn, Cu, Fe, Mn y B de 1,0, 3,7, 2,7, 240,0, 7,3, 1,0 ppm, respectivamente, además, se registró un pH de 5,80, la cual es adecuada para el normal desarrollo del maíz (Porta, 1994; Rodríguez *et al.*, 2001).

La cantidad de fertilizantes y la fórmula de fertilización para las parcelas experimentales, se la determinó sobre la base de un rendimiento de grano de 9 t ha⁻¹, para tal efecto, se tomó como referencia las curvas de absorción de nutrientes del cultivo de maíz reportadas por Bertsch (2003), indicando que, el cultivo de maíz necesita absorber por tonelada de rendimiento 24,5 kg de N; 4,7 kg de P y 18,6 kg de K. De acuerdo a Bertsch (1998), la eficiencia del N, P y K se encuentra entre 55 a 65, 30 a 35 y de 70 a 80%, respectivamente; para este estudio se consideró los valores medios, es decir, 60, 30 y 75% para N, P y K.

Factores en estudio y diseño experimental

En el estudio se evaluaron dos factores con tres niveles cada uno: primer factor (H) híbridos de maíz y el segundo factor (D) distancias entre hilera (80, 90 y 100 cm). En el factor H, se consideró un híbrido de moderado rendimiento (INIAP H-551), mediano rendimiento (NB-7443) y uno de alto rendimiento (DAS-668). Los nueve tratamientos en estudiados resultaron de la combinación de los tres híbridos de maíz (H) con las tres distancias de siembra (D).

Con el objeto de determinar las necesidades hídricas de los híbridos de maíz INIAP H-551, NB-7443 y DAS-668, sembrado a diferentes distancias entre hileras, se ordenaron los niveles de los factores en forma factorial (3^2), dentro de un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Para las comparaciones de medias de los factores y de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. El modelo estadístico del diseño experimental se describe a continuación (Cochran y Cox, 1980).

$$X_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ = Media de observación; ρ_i = Efecto de bloque; α_j = Efecto de los híbridos de maíz; β_k = Efecto de las distancias entre hilera; $(\alpha\beta)_{jk}$ = Interacción entre los híbridos de maíz y las distancias entre hilera; ε_{ijk} = Error experimental

Se establecieron 36 parcelas de maíz, las cuales fueron sembradas de forma manual, a una distancia de 20 cm entre planta y una distancia entre hilera de acuerdo a los niveles del factor D (80, 90 y 100 cm), es decir que se obtuvieron poblaciones de 62500, 55555 y 50000 plantas ha^{-1} . El área total y útil se determinó en función de las distancias entre hileras. Las parcelas fueron bloqueadas en grupos de nueve. En cada una de las nueve parcelas que constituyeron el bloque se introdujo un tubo de policarbonato de 100 cm de longitud, para el ingreso de la sonda DIVINER 2000® al interior del suelo a fin de determinar la humedad en puntos equidistantes en el perfil.

Mediciones experimentales

Precipitación

La precipitación se cuantificó mediante el uso de un pluviómetro, ubicado en la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), situada a 1000 m del sitio experimental. Las lecturas fueron tomadas diariamente y registradas en milímetros de lámina de agua. De esta manera se determinó el aporte o ingreso de agua por precipitación.

Drenaje

Este estudio se lo realizó en una época donde hay humedad suficiente para el cultivo, en un terreno plano, sin influencia de desniveles cercanos de suelo, razón por la cual, no fue necesario considerar en la ecuación de balance hídrico los componentes: ingreso de agua en el perfil de interés por ascensión capilar, escorrentía superficial y subsuperficial, pero sí, drenaje profundo, utilizándose para la determinación de la Conductividad Hidráulica la metodología de perfiles unitarios de humedad descrita por Calvache (2008); de tal modo que, para cada bloque se determinó una ecuación para estimar el drenaje profundo en función de la humedad volumétrica, aplicando las siguientes igualdades:

$$A = Hv \times P \qquad Hv_{60} = \frac{Hv_i - Hv_f}{2} \qquad D = \frac{A_i - A_f}{t}$$

Donde:

A = almacenamiento de agua en todo el perfil de interés, cm; Hv = humedad volumétrica media del perfil, $cm^3 cm^{-3}$; P = profundidad del perfil de interés, cm; Hv_{60} = humedad volumétrica a 60 cm de profundidad, $cm^3 cm^{-3}$; Hv_i = humedad volumétrica inicial a 60 cm de profundidad, $cm^3 cm^{-3}$; Hv_f = humedad volumétrica final a 60 cm de profundidad, $cm^3 cm^{-3}$; D = drenaje, mm; A_i = almacenamiento de agua inicial registrado en el perfil, cm; A_f = almacenamiento de agua final registrado en el perfil, cm; t = tiempo transcurrido desde una y otra lectura, d.

Para determinar la Conductividad Hidráulica en el suelo se delimitó, con muros de tierra (15 cm de alto), un área de 4 m² (2 x 2 m) en cuyo centro se introdujo un tubo de acceso para sonda DIVINER 2000®, luego se procedió a saturar de agua el suelo anteriormente delimitado. Para evitar la pérdida de humedad por evaporación se colocó en contacto con el suelo un plástico negro, asegurándose que la pérdida de agua del perfil de suelo solo sea por drenaje (Calvache et al, 1995; Calvache, 2008).

Aplicando las igualdades descritas, se determinó para cada tiempo (0, 2, 4, 7, 9 y 11 d) el almacenamiento de agua en el perfil de suelo (0 a 60 cm), una humedad volumétrica a 60 cm de profundidad y un drenaje de agua del perfil de interés, en un tiempo determinado. Los datos de humedad volumétrica a 60 cm de profundidad y drenaje de agua del perfil de interés, calculados para cada tiempo, se correlacionaron con el objeto de conocer la Conductividad Hidráulica (y) en función de la humedad volumétrica (x). Con los datos de humedad volumétrica y la ecuación de la Conductividad Hidráulica, se calculo el drenaje profundo, aplicando la ecuación de Darcy (Calvache, 2008) para cada fecha de análisis.

Almacenamiento de agua en el suelo

El almacenamiento de agua se determinó a partir de la lectura de la humedad del suelo en puntos equidistantes del perfil, humedad que fue medida haciendo uso de un DIVINER 2000®, cuya sonda debió introducirse en el suelo al momento de realizar las lecturas, para tal efecto se instaló un tubo de policarbonato de 100 cm de longitud en cada una de las 36 parcelas. El DIVINER 2000® previamente fue calibrado de acuerdo a la guía del usuario: “DIVINER 2000® versión 1,4” (SENTEK, 2007).

Conociendo la humedad volumétrica de cada punto en el perfil de interés, se calculó la humedad media existente en los primeros 60 cm. El almacenamiento de agua, para un instante determinado, resulta del producto entre la humedad volumétrica media y los 60 cm de espesor del perfil de interés. La variación de almacenamiento de agua en el perfil de suelo de interés, resulta de la diferencia entre el almacenamiento inicial y el almacenamiento final. El ciclo del cultivo de maíz fue dividido en tres etapas: una etapa inicial (11 a 30 d), comprendida desde los 11 d de haber emergido las plántulas; una etapa de desarrollo (31 a 60 d); y una etapa de fructificación (61 a 90 d), comprendida desde la completa floración hasta que se observó, en todas las unidades experimentales, el proceso natural de desecamiento de las hojas bajas.

Rendimiento

El rendimiento de granos de maíz por hectárea estuvo dado por el peso proveniente del área útil de cada una de las parcelas experimentales, expresado en kilogramos y ajustados al 13% de humedad, haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$RH = \frac{(100 - HC) \times RPU}{100 - 13} \times \frac{10000}{AUP}$$

Donde:

RH = rendimiento por hectárea, kg; HC = humedad de campo de la semilla, %; RUP = rendimiento de la parcela útil, kg; AUP = área útil de la parcela, m²

Evapotranspiración de cultivo

La evapotranspiración de cultivo se dedujo a partir de la ecuación del balance hídrico (Dantas, 2000; Darwich, 2006; Calvache, 2008). En la ecuación del balance hídrico no se consideró el componente irrigación ya que el estudio se lo realizó durante la época lluviosa. La variable ET_c fue determinada en cada una de las unidades experimentales utilizando la siguiente expresión:

$$ET_c = (S_i - S_f) + P - D$$

Donde:

S_i = almacenamiento de agua inicial, mm; S_f = almacenamiento de agua final, mm; P = precipitación, mm; D = drenaje, mm.

Necesidad hídrica

La necesidad hídrica de los híbridos de maíz se la estimó como producto de la ET media diaria observada en cada una de las etapas evaluadas (11 – 30; 31 – 60 y 61 – 90 d) y los días de duración de cada etapa (20, 30 y 30 d). Esta variable se la registró en milímetros de lámina de agua, además, se realizó la suma algebraica de cada una de las láminas de agua de cada etapa de evaluación, a fin de obtener la lámina total de agua o la necesidad hídrica total del cultivo.

Aprovechamiento hídrico

El aprovechamiento hídrico resulta de relacionar la necesidad hídrica total y el rendimiento de maíz en grano con un 13% de humedad, obteniéndose como resultado, la cantidad de agua que el cultivo de maíz necesita evapotranspirar para alcanzar un rendimiento determinado. Esta variable fue registrada en milímetros de lámina de agua por tonelada de rendimiento.

Manejo del experimento

Al momento que se delimitó los bloques y las parcelas de cada bloque, se procedió, con la ayuda de un barreno, a instalar en cada parcela un tubo de policarbonato de 100 cm de longitud. Cada una de las 36 parcelas o unidades experimentales fueron identificadas de acuerdo al croquis de campo. Las lecturas de campo con la sonda DIVINER 2000® se las realizó cada cuatro días hasta la floración del maíz; en adelante, se las realizaron cada dos días.

La fertilización se la realizó previo conocimiento de la necesidad de nutrientes del cultivo de maíz por tonelada de rendimiento, la cual fue de: 24,5 kg de N; 4,7 kg de P y 18,6 kg de K, la eficiencia del N, P y K, se estimó en 60, 30 y 75%, respectivamente, y prever el rendimiento esperado, que para este estudio fue de 9 t ha⁻¹. Finalmente, se determinó que se necesitarían en total 330,83 kg de N; 147,39 de P₂O₅ y 18,32 de K₂O. La aplicación del P y K, en las parcelas experimentales, se realizó en banda al día siguiente de la siembra del maíz, haciendo uso de 320 y 100 kg ha⁻¹ de súper fosfato triple [Ca(H₂PO₄)₂] y sulpomag [K₂SO₄.2(MgSO₄)], respectivamente, además, el sulpomag, hizo un aporte de Mg y S de 11 y 22 kg ha⁻¹. La fertilización nitrogenada se la realizó de forma fraccionada a base de urea [CO(NH₂)₂], a los 20, 40 y 60 d de edad del cultivo, aplicando 288, 288 y 144 kg ha⁻¹, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

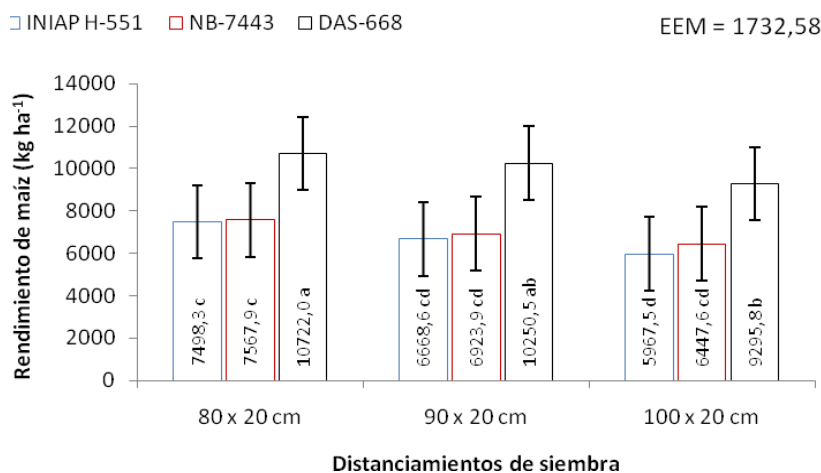
Rendimiento

El rendimiento por hectárea de maíz en grano, al 13% de humedad, de los tres híbridos de maíz fue diferente estadísticamente ($P \leq 0,05$). Igual respuesta se observó al medir el efecto del distanciamiento de siembra y en la combinación del factor híbrido y el factor distanciamiento de siembra.

Entre los híbridos INIAP H-551 y NB-7443 no hubo diferencias, registrándose un rendimiento, en promedio, de 6845,65 kg ha⁻¹, mientras que, el híbrido DAS-668 fue diferente a ambos, superándolos con 3243,75 kg ha⁻¹, lo que representa un incremento en el rendimiento del 47,38%. El distanciamiento de siembra incidió de forma inversamente proporcional en el rendimiento de maíz en grano. Entre los distanciamientos de siembra 80 y 90 x 20 cm, y 90 y 100 x 20 cm se observaron decrementos en el rendimiento de 648,50 y 710,60 kg ha⁻¹, respectivamente, determinándose que por cada 10 cm que se incrementó el distanciamiento de siembra el rendimiento de maíz, en promedio, disminuyó 679,55 kg ha⁻¹. En la combinación del factor híbrido y distanciamiento de siembra, el

híbrido DAS-668 sembrado a un distanciamiento de 80 x 20 cm registró el mayor rendimiento de maíz en grano, con 10722,00 kg ha⁻¹, rendimiento que superó con 2795,10 kg al rendimiento promedio. Además, se observó que los híbridos INIAP H-551 y NB-7443 no difirieron dentro de cada distanciamiento de siembra (**Figura 1**).

Figura 1. Rendimiento por hectárea en la combinación del factor híbrido y distanciamiento de siembra.



Evapotranspiración y necesidad hídrica

Al comparar la evapotranspiración de tres híbridos de maíz no se observaron diferencias en las etapas de 11 – 30 d, 31 – 60 d y 61 – 90 d ($P > 0,05$). Igual respuesta se observó al medir el efecto del distanciamiento de siembra (80, 90 y 100 x 20 cm) e incluso al combinar el los niveles del factor híbrido y distanciamiento de siembra; la evapotranspiración promedio, para cada etapa, fue de de 2,55; 4,41 y 5,10 mm d⁻¹, respectivamente (**Tabla 1**).

La necesidad hídrica de los tres híbridos de maíz fue similar en las etapas de 11 – 30 d, 31 – 60 d y 61 – 90 d. Igual respuesta se observó al medir el efecto del distanciamiento de siembra e incluso en la combinación del factor híbrido y el factor distanciamiento de siembra; registrándose una necesidad hídrica promedio, para cada etapa, de 51,02; 132,16 y 152,93 mm; cuantificándose, una necesidad hídrica total de 336,11 mm (**Tabla 2**).

Aprovechamiento hídrico

El aprovechamiento hídrico resulta de la relación entre la demanda hídrica total y rendimiento de maíz en grano, al 13% de humedad. El aprovechamiento hídrico de los tres híbridos de maíz fue diferente estadísticamente ($P \leq 0,05$). Respuesta igual se observó al medir el efecto del distanciamiento de siembra y en la combinación del factor híbrido y el factor distanciamiento de siembra.

Entre los híbrido INIAP H-551 y NB-7443 no hubo diferencias, registrándose un aprovechamiento hídrico, en promedio, de 50,06 mm t⁻¹, mientras que, el híbrido DAS-668 fue diferente a ambos con un aprovechamiento hídrico de 33,11 mm t⁻¹, es decir, los híbridos INIAP H-551 y NB-7443 necesitaron 16,95 mm más por tonelada de rendimiento. El distanciamiento de siembra mostró efecto sobre el aprovechamiento hídrico del maíz. Al incrementarse de 80 a 90 cm el distanciamiento de siembra, fue necesario 4,23 mm más por tonelada de maíz en grano; al incrementarse el distanciamiento de 80 a 100 cm, la necesidad fue de 9,71 mm más con respecto al distanciamiento de 80 cm, donde fue necesario 39,77 mm t⁻¹.

Tabla 1. Evapotranspiración de tres híbridos de maíz cultivado bajo tres distancias de siembra.

	Evapotranspiración (mm d ⁻¹)		
	11 – 30 d	31 – 60 d	61 – 90 d
Híbridos de maíz:			
INIAP H-551	2,54 a	4,43 a	5,13 a
NB-7443	2,60 a	4,41 a	5,13 a
DAS-668	2,52 a	4,37 a	5,03 a
EEM	0,042	0,027	0,055
Distancias de siembra:			
80 x 20 cm	2,46 a	4,30 a	5,14 a
90 x 20 cm	2,58 a	4,41 a	5,02 a
100 x 20 cm	2,61 a	4,50 a	5,13 a
EEM	0,080	0,099	0,064
Combinación:			
INIAP H-551 a 80 x 20 cm	2,32 a	4,18 a	5,22 a
INIAP H-551 a 90 x 20 cm	2,62 a	4,55 a	5,05 a
INIAP H-551 a 100 x 20 cm	2,68 a	4,56 a	5,05 a
NB-7443 a 80 x 20 cm	2,47 a	4,31 a	5,10 a
NB-7443 a 90 x 20 cm	2,71 a	4,41 a	5,03 a
NB-7443 a 100 x 20 cm	2,62 a	4,52 a	5,26 a
DAS-668 a 80 x 20 cm	2,60 a	4,42 a	5,11 a
DAS-668 a 90 x 20 cm	2,42 a	4,28 a	4,99 a
DAS-668 a 100 x 20 cm	2,54 a	4,42 a	5,00 a
EEM	0,144	0,132	0,077
CV (%)	7,97	7,99	3,06

Tabla 2. Necesidad hídrica media de tres híbridos de maíz cultivado bajo tres distancias de siembra.

	Necesidad hídrica (mm)			
	11 – 30 d	31 – 60 d	61 – 90 d	Total 11 – 90 d
Promedio	51,02±2,89	132,16±3,96	152,93±2,35	336,11±6,76

En la combinación del factor híbrido y el factor distanciamiento de siembra, se determinó que, el híbrido DAS-668 sembrado a un distanciamiento de 80 x 20 cm registró el mayor aprovechamiento hídrico con 31,50 mm t⁻¹, valor que fue 12,92 puntos menores con respecto a la media, que fue de 44,42 mm t⁻¹. Además los híbridos evaluados, en los distanciamientos de siembra 80, 90 y 100 x 20 cm registraron rangos de 12,42; 19,16 y 21,80 mm t⁻¹, respectivamente, determinándose que por cada 10 cm que se incrementó el distanciamiento entre hilera, en promedio, el rango aumentó 4,69 puntos (Figura 2).

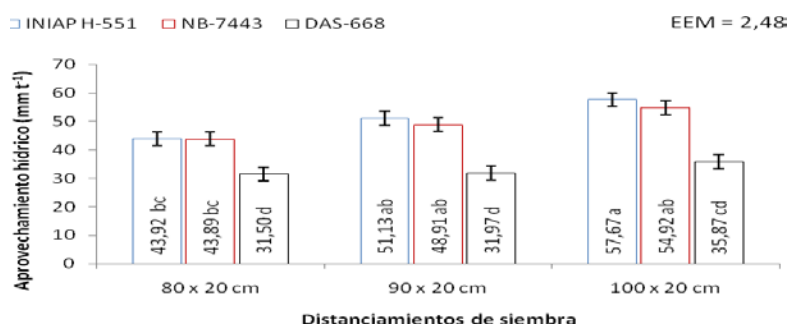


Figura 2. Aprovechamiento hídrico en la combinación del factor híbrido y distanciamiento de siembra.

La edad del maíz tuvo efecto en la evapotranspiración del cultivo, la cual en el periodo de 11 – 30 d fue de 2,55 mm d⁻¹, incrementándose 0,062 mm d⁻¹ hasta que el cultivo alcanzó la edad de 60 d y en el periodo de 61 – 90 d, la tasa de evapotranspiración se incrementó a razón de 0,022 mm d⁻¹, respuesta justificada por el incremento paulatino del área foliar que experimentó el cultivo con el paso del tiempo, y que a la floración suele alcanzar su nivel máximo (Temón *et al.*, 2005); área foliar que puede llegar a ser de 2,96 a 4,67 veces superior al área de suelo ocupada por el cultivo (Camacho *et al.*, 1995), además, el ciclo del cultivo de maíz está compuesto de una etapa vegetativa, que comprende desde la germinación hasta la floración, una etapa reproductiva, que se inicia con la emergencia de los estigmas hasta la madurez fisiológica, en donde la evapotranspiración es máxima debido a la acumulación de materia seca en la planta (Amador y Boschini, 2000; Rengel, 2000), la misma que tiene una alta relación con la necesidad hídrica (Jorgensen *et al.*, 2001; Medrano *et al.*, 2007).

La evapotranspiración y el coeficiente de cultivo tienen directa relación con la necesidad hídrica de los cultivos (Calvache y Reichardt, 1996; Castañeda and Rao, 2005; Suyker and Verma, 2009), por tal razón, fue similar en las etapas de 11 – 30 d, 31 – 60 d y 61 – 90 d, en los híbridos de maíz INIAP H-551, NB-7443 y DAS-668. La necesidad hídrica, promedio de los tres híbridos de maíz, en cada una de las etapas evaluadas fue de 51,02; 132,16 y 152,93 mm, cuantificándose una necesidad hídrica total de 336,11 mm, la misma que es corroborada por Carlesso & Santos (1999). La evapotranspiración fue de 2,55; 4,41 y 5,10 mm d⁻¹.

CONCLUSIONES

- ✓ La máxima tasa de evapotranspiración se da entre los 60 y 90 días de edad del cultivo, contados a partir de la germinación de la semilla.
- ✓ La evapotranspiración de los híbridos de maíz INIAP H-551, NB-7443 y DAS-668 es similar entre ellos e independiente al distanciamiento entre hilera evaluado (80, 90 y 100 cm), aunque tiende a ser mayor a medida el distanciamiento se incrementa, condición que al menos se cumple hasta el inicio de la floración.
- ✓ Cuando se comparan híbridos de maíz de similar conformación morfológica, la necesidad hídrica del cultivo (evaporación + transpiración), deducida a partir del balance hídrico, es igual entre ellos en cada una de las etapas estudiada en función de la fenología. Por otro lado, se estima que el distanciamiento entre las hileras de maíz no tiene efecto en la necesidad hídrica, condición que al menos se cumple dentro de los distanciamientos entre hilera evaluados (80, 90 y 100 cm).
- ✓ El aprovechamiento hídrico del cultivo de maíz, básicamente se encuentra supeditado a su potencial de rendimiento y al distanciamiento entre hileras utilizado, en vista que la necesidad hídrica es igual tanto para el híbrido como para el distanciamiento entre hilera evaluado. El híbrido INIAP H-551 tienen un aprovechamiento hídrico comprendido entre 43,92 a 57,67 mm t⁻¹, el NB-7443 un aprovechamiento hídrico comprendido entre 43,89 a 54,92 mm t⁻¹ y el híbrido DAS-668 un aprovechamiento hídrico comprendido entre 31,50 a 35,87 mm t⁻¹, dependiendo del distanciamiento entre hilera (80, 90 y 100 cm).

BIBLIOGRAFIA

- Amador, A. y F. Boschini. 2000. Fenología productiva y nutricional del maíz para la producción de forraje. *Agronomía mesoamericana*. 11(1):171-177.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, CR. 157 p.
- . 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, CR. 307 p.
- Buckman, H. y N. Brady. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. UTEHA. Barcelona, ES. 590 p.
- Calvache, M., K. Reichardt, J. Silva, y O. Portezan. 1995. Conductividade hidráulica de um solo Typic Haplustoll em condicoes de campo. *In*. Congreso Brasileiro de Ciencia do Solo. 25^o VICOSA, 1995. Trabajos presentados. VICOSA, Brasil, 1995. pp: 63-65
- Calvache, M., y K. Reichardt. 1995. Water deficit imposed by partial Irrigation at different growth stages for common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Soil Newsletter* 18(1):25-26, 1995.
- Calvache M., y K. Reichardt. 1996. Efeito de épocas de deficiencia hídrica na eficiencia do uso do nitrogenio da cultura de feijao cv. Imbabello. *Scientia Agrícola*, 52(3)1-11
- Calvache M., y K. Reichardt. 1996. Water deficit imposed by partial irrigation at different plant growth stages of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *In*: IAEA TECDOC 888, NUCLEAR TECHNIQUES TO ASSESS IRRIGATION SCHEDULES FOR FIELD CROP. P 63-72.
- Calvache, M., K. Reichardt, y O. Bacchi. 1997. Deficiencia de agua em diferentes estadios de desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Imbabello). *Scientia Agrícola*, número especial v 54:1-16.
- Calvache, M., y K. Reichardt. 1997. Efeito de épocas de deficiencia hídrica na evapotranspiracao atual da cultura de feijao cv. Imbabello. *Scientia Agrícola* 54(1): 21-41
- Calvache, A.M. 1998. Manejo del agua en fertirrigación. Memorias del primer seminario internacional de fertirrigación. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, EC. 193 p.
- . 2008. Módulo de fertirrigación y manejo de agua. Maestría en nutrición vegetal. Universidad Tecnológica Equinoccial. Sto. Domingo de los Tsáchilas. EC. 190 p.
- Camacho, R., O. Garrido y M. Lima, 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Sci. Agric.* 52(2): 294 – 298.
- Carlesso, R. & R. Santos. 1999. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. *Bras. Ci. Solo*. 23:17 – 25.
- Caseres, S., J. Pipaon, M. Mendez, y H. Currié. 2006. Evaluación de la demanda hídrica del cultivo de maíz en el norte de Corrientes. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas A-005*. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, AR.
- Castañeda, L. and P. Rao. 2005. Comparison of Methods for Estimating Reference Evapotranspiration in Southern California. *Journal of Environmental Hydrology*. 13(14):1 – 10.
- Castro, R., L. Rocha, y O. Delgadillo. 2004. Guía para la determinación de humedad del suelo. Serie técnica agua y suelo N° 3. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, BO. 114 p.
- Cavazos, T. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Trillas. Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar. México, MX. 99 p.

- Cochran, W. y G. Cox. 1980. Diseños experimentales. Experimentos factoriales con efectos principales confundidos. Trillas. 6 ed. México, MX. Pp 328 – 352
- Dantas, A., E. Sampaio, A. Dall, e I. Salcedo. 2000. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistencia no semi-árido do nordeste do Brasil. Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 4(1): 29 – 34.
- Darwich, N. 2006. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. El agua del suelo. Arnedinho. 3 ed. Mar del Plata, AR. 289 p.
- Fabregat, F., N.S. Ferriols, G. García, J. Bisquert, y I. Morell. 1999. Estudio de diferentes estados energéticos del agua del suelo en función de los fenómenos de relajación dieléctrica. Universitat Jaume I. Departamento de Ciencias Experimentales. Castelló, ES. Pp 39 – 44.
- Flores, H. y J. Ruíz. 1998. Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. Terra Latinoamericana. ISSN 0187 – 5779. 16(3):219 – 229.
- Jorgensen, U. and K. Schelde. 2001. Energy crop and nutrient use efficiency. The International Energy Agency IEA Bioenergy Task 17, Short Rotation Crops. 36 p.
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas, y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas. 43:63 – 84.
- Porta, J. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi Prensa. Madrid, ES. 806 p.
- Rengel, M. 2000. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en el maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela. Informaciones Agronómicas N° 53:6 – 8.
- Rodríguez, S., D. Pinochet, y F. Matus. 2001. La fertilización de los cultivos. Ediciones LOM. Santiago de Chile, CL. 117 p.
- Rucks, L., F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León, y M. Hill. 2004. Propiedades físicas del suelo. Departamento de suelos y aguas. Facultad de Agronomía. Universidad de República. Montevideo, UR. 68 p.
- SENTEK. 2007. Diviner 2000. User Guide Version 1,4. Sídney, AU. 86 p.
- SEP (Secretaría de Educación Pública, MX), 1991. Cultivos básicos / basado en el trabajo de Johan D. Berlijn. 2 ed. Trillas. México, MX. 72 p.
- Suyker, A. and S. Verma. 2009. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize – soybean cropping systems. Agricultural and Forest Meteorology. 149:443 – 452
- Temón, L., S. Cabada, O. Valentinuz, G. Díaz, y H. Peltzer. 2005. Rendimiento y características del maíz ante cambios de la oferta de nitrógeno. Rev. Ciencia Agropecuaria UNER. 9(1):7 – 12.
- Tuñón, J., I. Morell, y N. Ferriols. 1999. Observaciones prácticas sobre el cálculo del balance de agua en el suelo, IV Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo.
- Zúñiga, C. 2004. Manejo del riego mediante un monitoreo hídrico en tiempo real determinado con la técnica Frequency Domain Reflectometry (FDR). Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad de Chile. Santiago de Chile, CL. 47 p.