



23

Necesidades Hídricas de los granos

Felipe Velázquez Pérez y Esteban Peña Peña



Editado por la Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso para eumed.net

Derechos de autor protegidos. Solo se permite la impresión y copia de este texto para uso personal y/o académico.

Este libro puede obtenerse gratis solamente desde
<http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/23/index.htm>

Cualquier otra copia de este texto en Internet es ilegal.

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE LAS TUNAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
FILIAL UNIVERSITARIA MUNICIPAL JESÚS MENÉNDEZ**

MONOGRAFÍA

Título: “Necesidades Hídricas de LOS GRANOS”

**Autor: Ing. Felipe Velázquez Pérez, MSc.
Profesor Asistente, Universidad de Las Tunas
Filial Universitaria Municipal Jesús Menéndez**

**Coautor: Ing. Esteban Peña Peña, DrC.
Profesor Titular. Universidad de Las Tunas
Centro de Estudios CEDAT.**

MSc. Felipe Velázquez Pérez: Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Vladimir Ilich Lenin de Las Tunas con título de Oro en el año 2003. Posee una experiencia profesional y como docente en la Educación Superior de 10 años. Se desempeña actualmente como profesor investigador y desde el año 2005 se desempeña como Subdirector Docente de la Filial Universitaria Municipal Jesús Menéndez adscripta a la Universidad de Las Tunas. Ostenta la categoría docente principal de Profesor Asistente y el grado científico de Master en Ciencias Agrícolas. Ha sido tutor de varios trabajos de diploma en la carrera de Agronomía y ha impartido docencia en asignaturas como Riego y Drenaje, Ecología y Extensionismo Agrícola, así como la impartición de cursos de postgrado. Ha desarrollado investigaciones en las áreas del riego en las plantas y evaluación de líneas de frijol y publicado varios artículos en revistas y CD, además, ha participado en diferentes eventos científicos.

DrC. Esteban Peña Peña. Posee una experiencia profesional de 26 años, de ellos 23 como docente en la Educación Superior. Se desempeña actualmente como profesor investigador del Centro de Estudios de Desarrollo Agrario de Las Tunas adscripto a la Universidad de Las Tunas. Ostenta la categoría principal docente de Profesor Titular y el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. En su labor docente se destaca la impartición de varias asignaturas a la carrera de Agronomía como Riego y Drenaje, Topografía, Biometría y Diseño y Proyectos Agrícolas, así como la impartición de cursos de postgrado, diplomados y maestrías. Ha sido tutor de varios trabajos de diploma, diplomados, tesinas, maestrías y doctorado referentes a: manejo de tecnologías agrícolas, gestión de proyectos, tecnologías de información y comunicaciones y técnicas de dirección. Ha desarrollado investigaciones en las áreas de manejo de tecnologías agrícolas sostenibles, explotación del régimen de riego de granos, hortalizas, caña de azúcar y raíces y tubérculos; perfeccionamiento de la gestión de proyectos para el desarrollo local y de la dirección de empresas. En los últimos 5 años (2008-2013) ha mantenido un sostenido trabajo en la conducción de proyectos y de investigaciones referentes a la Gestión del Conocimiento y la Innovación Tecnológica para el Desarrollo Agropecuario y el Manejo sostenible del riego.

PRÓLOGO DE LOS AUTORES.

Muchos autores se han referido a las exigencias y requerimientos hídricos de los granos como el maíz y el frijol, otros, en menor cantidad, han estudiado los requerimientos hídricos del garbanzo, pero casi todos indican que estos cultivos están condicionados a la región donde se desarrolle el cultivo y que son altamente tolerantes a déficit de humedad en el suelo. En Cuba, la mayoría de las experiencias investigativas que tratan este aspecto, se han desarrollado fundamentalmente en zonas del occidente del país, bajo suelos ligeros y condiciones de clima caracterizadas por bajas láminas de evapotranspiración y una distribución regular de lluvias en el año.

Un aspecto clave para poder satisfacer adecuadamente las necesidades hídricas de los granos es conocer los mecanismos mediante los cuales el vegetal toma agua y nutrientes del suelo. La necesidad de agua de riego es la cantidad de agua que debe aportarse a un cultivo para asegurar que recibe la totalidad de sus necesidades hídricas o una fracción determinada de éstas. Cuando el riego es la única aportación de agua de que se dispone, la necesidad de agua de riego será al menos igual a las necesidades hídricas del cultivo, y es mayor cuando existen pérdidas (escorrentía, percolación, falta de uniformidad en la distribución, etc.), y menor cuando la planta puede satisfacer sus necesidades hídricas a partir de otros recursos (lluvia, reservas de agua en el suelo, etc.). Por tanto, para poder planificar los riegos, tanto en lo que se refiere a la frecuencia como a la dosis, es necesario conocer las necesidades hídricas de los cultivos, es decir, la cantidad de agua que requieren para un desarrollo óptimo. El objetivo de esta monografía es ofrecer una panorámica sobre el tema abordando resultados obtenidos en investigaciones hechas en los principales países productores de granos y que puede servir a investigadores agrícolas, estudiantes y profesores universitarios, así como a productores en general como material de consulta bibliográfica sobre el tema.

Resumen.

Se realiza un estudio para analizar factores importantes en el desarrollo de los cultivos puesto que la falta de agua en las raíces, desarrolla tensiones hídricas que alteran las funciones normales, provocando un desequilibrio fisiológico. En el capítulo 1 se relacionan las generalidades sobre relación agua-suelo-planta para poder comprender los factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, de ahí lo necesario de su conocimiento. Teniendo en cuenta que la humedad y el potencial matricial pueden relacionarse funcionalmente y a su representación gráfica y para su determinación se han introducido modelos que se basan en las características físicas del suelo, se realiza un estudio de los diferentes modelos utilizados por diferentes autores. En el capítulo 2 se resumen las generalidades sobre el agua que se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo dando lugar al proceso denominado evapotranspiración y su determinación en los cultivos. En el capítulo 3 se realiza un estudio sobre necesidades hídricas en los cultivos en el mundo como el Garbanzo y el Maíz por su importancia en la economía cubana. En el capítulo 4, se muestran algunos resultados de investigaciones desarrolladas en la provincia de Las Tunas sobre necesidades hídricas en el cultivo de los granos que han contribuido a aumentar el conocimiento en cultivos como el garbanzo, el frijol y el maíz sobre el efecto de las variaciones del régimen de riego en los componentes del rendimiento y en el incremento de los ingresos a través del manejo del intervalo de riego que permite la satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos en cantidad y momento óptimo.

Palabras claves: Relación agua-suelo-planta, Régimen de riego, Maíz, Garbanzo, Frijol.

CAPITULO 1: RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA.....	1
1. Generalidades sobre relación agua-suelo-planta.	1
1.1. Curvas tensión-humedad (CTH).....	3
1.1.1. Modelos matemáticos para obtener la curva tensión humedad.	4
1.1.1.1. Modelo de Brooks y Corey, 1964; 1966	4
1.1.1.2. Modelo de Gardner, 1970.	6
1.1.1.3. Modelo de Van Genuchten, (1978, 1980)	6
CAPITULO 2: GENERALIDADES SOBRE EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	8
2. Relación agua rendimiento.	10
2.1. Particularidades de la relación agua suelo planta en el garbanzo	11
2.2 Particularidades de la relación agua suelo planta en el cultivo del frijol.	13
2.3. Particularidades de la relación agua suelo planta en el maíz.	14
2.3.1 Importancia del riego en el maíz.	14
2.3.2 Necesidades hídricas del cultivo del maíz.....	15
CAPITULO 3: ESTUDIO SOBRE NECESIDADES HÍDRICAS EN LOS GRANOS.....	20
3.1. Resultados de investigaciones desarrolladas en el mundo	20
3.1.1. Cultivo del Garbanzo.....	20
3.1.2. Cultivo del Maíz.....	21
CAPITULO 4: INVESTIGACIONES DESARROLLADAS EN LA PROVINCIA DE LAS TUNAS.	23
4.1 Resultados de investigaciones desarrolladas en la provincia de Las Tunas sobre necesidades hídricas en el cultivo de los granos.....	23
4.1.1 Cultivo del Garbanzo.....	23
4.1.2 Cultivo del Maíz.....	28
4.1.3 Cultivo del Fríjol.....	46
5. BIBLIOGRAFÍA	51

CAPITULO 1: Relación agua-suelo-planta.

1. Generalidades sobre relación agua-suelo-planta.

La cantidad variable de agua contenida en una unidad de masa o de volumen del suelo y el estado de energía del agua en el mismo son factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, de ahí lo necesario de su conocimiento. Sin una descripción adecuada de la relación suelo-agua, no es posible después estimar correctamente el comportamiento del cultivo, (Mahdian y Gallichand, 1996), siendo imprescindible esta información entre otras razones si se quiere obtener valores experimentales de la tasa de evapotranspiración (Ramos, 1992; De Santa Olalla y De Juan, 1993; Hillel, 1994; Henríquez y Cabalceta, 1999; Tuñón et al., 1999).

Saxton et al., (1985); Hillel, (1990) y Reidchardt, (1996) sostienen que en la mayoría de los suelos, cuando el suelo se encuentra con una humedad correspondiente a la capacidad de campo, la energía con que retiene el agua es de 30 kpa, exceptuando de ello los suelos de textura arenosa en los cuales el valor de tensión de humedad correspondiente a ese estado es de 10 kpa. No obstante los dos últimos sostienen además que no es acertado esperar o asumir que estos criterios sean universales, ya que ellos son por naturaleza estáticos y el proceso de redistribución es esencialmente dinámico.

Otro criterio generalmente aceptado es que en un suelo con una humedad igual al punto de marchitez permanente se retiene el agua con una fuerza de 1500 kpa (Ramos, 1992; Hillel, 1994; Olavarrieta, 1993 y 1995; Herrera et al., 2001). De Santa Olalla y De Juan (1993), por el contrario señalaron que el agua utilizable no está demasiado correlacionada con la textura y aunque generalmente los suelos de texturas gruesas suelen poseer los valores más pequeños del intervalo de humedad disponible, pueden darse casos de suelos con texturas fuertes con menos cantidad de agua utilizable que suelos de textura media, así como que los aportes de materia orgánica pueden incrementarla. Lo que verdaderamente influye en los procesos de transpiración y crecimiento, es la tensión hídrica de la planta, que no sólo depende de la tensión hídrica del suelo, sino también de la demanda atmosférica del agua.

Se han realizado innumerables investigaciones, tendentes a responder cuál es el valor óptimo de humedad del suelo en el que a la planta le es más fácil vencer la energía (tensión) con que el suelo trata de retener el agua. En la mayoría de los casos se ha considerado que el límite superior está cercano a la capacidad de campo, valor éste

relativamente fácil de determinar y poco variable en suelos iguales aun ubicados en regiones diferentes.

No obstante, el concepto de capacidad de campo, como fue originalmente definido ha sido reconocido como arbitrario y no una propiedad física intrínseca, independiente del modo en que es medida (Richards, 1960; Hillel, 1980 y 1990; Cid, 1992; De Santa Olalla y De Juan, 1993; Reidhardt, 1996).

Obviamente los criterios para la determinación de cuándo la redistribución ha "decrecido materialmente" ó que su tasa es "prácticamente cero" son subjetivos y dependientes grandemente de la frecuencia y la precisión con la que el contenido de agua se mide. Por otra parte no se tienen en cuenta una serie de factores como la humedad antecedente del suelo, la profundidad de humedecimiento, la cantidad de riego aplicada, etc., (Hillel, 1980).

Los suelos para los que el concepto de Capacidad de Campo se adecua más, son los de textura gruesa, en los que la conductividad decrece bruscamente con el decrecimiento del potencial mátrico de succión, y el flujo llega a ser despreciable relativamente rápido. En suelos de textura media o fina, sin embargo, la redistribución puede mantenerse en una tasa apreciable por muchos días.

En suelos con arcillas dilatables este concepto es aún más criticable, si consideramos que la redistribución de los contenidos de agua se lleva a cabo por una porosidad altamente heterogénea, caracterizada por poros de talla milimétrica (poros texturales), así como poros de dimensiones centimétricas (fisuras y grietas), constituyendo estos últimos las vías preferenciales del flujo del agua en estos tipos de suelos, (Cid, 1992).

La capacidad de almacenamiento del suelo es relativa no sólo al tiempo, sino también a la composición textural y a la secuencia de capas del perfil, así como a la distribución inicial del contenido de agua (Hillel, 1980). A pesar de todas estas objeciones, este concepto está aún considerado por muchos como un criterio práctico útil para el límite superior del almacenamiento de agua en el suelo (Hillel, 1990; Allen et al., 1998). No obstante, la Capacidad de Campo debe ser medida en el campo, y generalmente los procedimientos de laboratorio no resultan del todo satisfactorios para obtenerla (López, 2001).

Respecto al establecimiento del límite inferior de humedad para el riego, existen diferencias de criterio respecto a los valores recomendados, siendo una de las tesis más aceptadas la que sostienen Richards y Waldleigh, (1952); Stanhill, (1957); Millar y Gardner, (1972) citados por De Santa Olalla y De Juan (1993), de que el agua está

menos disponible conforme su contenido disminuye por debajo de la capacidad de campo.

Teniendo en cuenta estos criterios y considerando el vegetal como unidad de producción, el mismo posee un rango de energía para la extracción de agua del suelo que cuanto menor sea, mayor disponibilidad energética tendrá para la producción del bien a explotar. El límite a partir del cual la planta disminuye su producción motivado al esfuerzo que para ella representa la extracción de agua, se define por el término tensión crítica que significa el valor de tensión para el cual el cultivo comienza a disminuir su producción por el esfuerzo que representa la extracción de agua para sus procesos vitales (Olavarrieta, 1995).

La condición físico - química o estado del agua en el suelo se caracteriza en términos de su energía libre por unidad de masa, magnitud llamada "potencial" (Hillel, 1980). Éste está formado por varios componentes, siendo uno de los más empleados el "potencial matricial", que caracteriza la retención del agua por las partículas minerales y orgánicas del suelo (matriz). El valor numérico del potencial matricial está relacionado con la capacidad de las raíces de un cultivo para extraer agua del suelo. Esta extracción puede ser descrita mediante funciones semiempíricas del potencial (Feddes et al., 1978; Hoogland, 1981).

1.1. Curvas tensión-humedad (CTH).

La humedad y el potencial matricial pueden relacionarse funcionalmente y a su representación gráfica se le llama "curva característica" y también "curva tensión" (CTH). La curva característica de humedad del suelo puede obtenerse basado en un grupo de puntos medidos determinados en el laboratorio o el campo (Kutilek y Nielsen, 1994). Debido a que su determinación consume tiempo, para calcularla se han introducido modelos que se basan en las características físicas del suelo (Hartman, 2002).

Entre los modelos más utilizados en el ámbito mundial se pueden mencionar Brooks y Corey, 1964 y 1966; Gardner, 1970; King, 1965; Taylor y Luthin, 1969 y Van Genuchten, 1978 y 1980, citados por Ruíz et al. (2002). Los trabajos de Nielsen, et al., (1983); Hack-ten Broeke y Hegmans (1996) que comparan diferentes modelos para la descripción de las curvas de retención, señalan el de Van Genuchten (1980) como el de mejor ajuste para las curvas características.

En las condiciones de Cuba, Ruíz et al., (2002) reportaron trabajos hechos por Ruíz et al., (1991) y Ruíz y Utset (1992) en los que se procesaron curvas correspondientes a los agrupamientos Ferríticos, Ferralíticos, Fersialíticos, Pardos, Oscuros Plásticos, Aluviales y Arenosos encontrando que el modelo de Van Genuchten brindó el mejor ajuste para las curvas tensión-humedad analizadas coincidiendo además esto con lo planteado en el ámbito internacional.

A nivel mundial ha sido utilizado con éxito por Dane (1980) para la estimación de la conductividad hidráulica. Nielsen et al., (1983) obtuvieron para el mencionado modelo el mejor ajuste en comparación con el de Brooks y Corey. Pachepsky y Zbarschuk (1984) emplearon esta ecuación para elaborar un modelo matemático para el movimiento del agua en suelos expansivos. Stephen (1985) citado por Ruiz et al., (2002) demostró la validez del modelo para suelos arenosos y Van Genuchten y Nielsen (1985) lo utilizaron para más de 200 curvas tensión humedad obtenidas tanto "in situ" como en laboratorio, para suelos de diversas texturas, obteniendo mejor ajuste en comparación a Brooks y Corey.

1.1.1. Modelos matemáticos para obtener la curva tensión humedad.

Generalmente el número de puntos para la curva resulta un número reducido por el trabajo y los costos requeridos. Por lo anterior, si se ajustan estos datos a una función analítica, es posible la estimación de puntos intermedios dentro del rango experimental en que no han sido medidos. Por otra parte resulta menos engorrosa la utilización de estos modelos para la estimación de la conductividad hidráulica en función de la humedad y el empleo de ambas en modelos hidrológicos.

Cuando se cuenta con la CTH y la conductividad hidráulica en función de la humedad expresadas analíticamente es posible, haciendo uso de las técnicas de computación, simular y predecir cómo varía la humedad en un perfil de suelo según pasa el tiempo y por ejemplo saber en qué momento regar o introducir la maquinaria sin tener que realizar determinaciones gravimétricas. También es posible predecir los términos de evaporación y drenaje en los balances hídricos y hasta la producción de un cultivo (Feddes et al., 1984).

Numerosos modelos han sido introducidos para la curva tensión humedad, a continuación expondremos algunos de los más empleados:

1.1.1.1. Modelo de Brooks y Corey, 1964; 1966

Este plantea la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\Theta(h) &= \Theta_r + (\Theta_s - \Theta_r) \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-\lambda} & \frac{h}{h_b} \geq 1 \\ \Theta(h) &= \Theta_s & \frac{h}{h_b} < 1\end{aligned}\quad [1]$$

Donde Θ_s es la humedad de saturación, es decir aquella que se logra cuando todos los poros del suelo se llenan de agua, Θ_r es la humedad residual, o sea el valor constante a que tiende la humedad cuando aunque se aumente la tensión "h" aplicada al suelo éste no pierda más agua.

La tensión h_b es conocida como "tensión de burbujas" que se define como el valor de tensión necesario para que el aire penetre en los poros del suelo y comience la pérdida de agua.

Como se puede observar de [1] este modelo resulta discontinuo para $h = h_b$.

El parámetro λ recibe el nombre de "índice de distribución de poros" y como su nombre indica, cambia según la distribución de poros que tenga el suelo que se estudia.

Este modelo ha sido sin dudas el más popular entre los investigadores por su simplicidad ya que la curva puede ser llevada a una recta en un gráfico log-log. Lo anterior puede apreciarse si se expresa la ecuación [1] de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}Se &= \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-\lambda} & \frac{h}{h_b} \geq 1 \\ Se &= 1 & \frac{h}{h_b} < 1\end{aligned}\quad [2]$$

Donde

Se: Se conoce como "saturación efectiva" y se define como $Se = (\Theta - \Theta_r) / (\Theta_s - \Theta_r)$. Entonces tomando logaritmo en ambos miembros de [2] tendremos la ecuación de una recta de pendiente numéricamente igual a λ .

Se ha obtenido que este modelo provee una representación adecuada de la CTH para tensiones mayores de 50 cm de agua. Sin embargo Van Genuchten y Nielsen (1985) plantean que este modelo produce resultados aceptables sólo para suelos tamizados, de textura gruesa, con una distribución de poros relativamente estrecha y para tensiones que no correspondan al rango húmedo.

McCuen et al., (1981) citados por Ruíz et al., (2002) demostraron que los parámetros λ , Θ_r y h_b variaban sistemáticamente con las clases texturales y Rawls et al., (1982), brindan sus valores medios para distintos agrupamientos de suelos.

Este modelo también ha sido empleado en trabajos en que se comparan varias ecuaciones para la CTH (Nielsen, et al., 1983).

Como se había indicado, [1] muestra una discontinuidad para $h = h_b$ planteándose que para tensiones desde 0 hasta $h = h_b$ el suelo se mantiene a la humedad de saturación (Θ_s). Si analizamos que muchos suelos están formados por poros de radios que van desde valores muy pequeños hasta grandes (caso de grietas, huellas de lombrices, raíces secas) es lógico pensar que desde las más pequeños valores de tensión ya empezaran a vaciarse algunos poros y que por lo tanto el descenso de humedad desde la saturación será continuo, más o menos brusco en dependencia del suelo pero sin discontinuidades, pues esto implicaría que todos los poros tienen igual radio. La tensión de burbujas resulta un concepto discutido pues se plantea que se hace notable en suelos con poros en su mayoría uniformes es decir en suelos arenosos ó tamizados, pero que "in situ" o en el laboratorio con otros suelos, h_b no se detecta (Van Genuchten y Nielsen, 1985).

Otros modelos son:

1.1.1.2. Modelo de Gardner, 1970.

$$h = a \Theta^{-b} \quad [3]$$

Donde a y b son parámetros de ajuste. Este modelo ha sido empleado en Cuba por Herrera et al., (1986) citado por Ruíz et al., (2002).

Por otra parte se han planteado otros modelos para los que se observa un descenso continuo de la humedad en la zona cercana a la saturación y que tienen forma de "s" (sigmoidal) desde Θ_s a Θ_r , logrando un mejor ajuste para esa zona de la curva, entre ellos:

1.1.1.3. Modelo de Van Genuchten, (1978, 1980)

$$\Theta(h) = \Theta_r + \frac{(\Theta_s - \Theta_r)}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^m} \quad [4]$$

donde α , n y m son parámetros de ajuste a los datos experimentales de tensión y humedad. La expresión [4] también puede escribirse:

$$Se = \frac{1}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$$

Este modelo ha sido utilizado con éxito por Dane (1980) y Sakellariou-Makrantonaki et al., (1987) para la estimación de la conductividad hidráulica. Nielsen et al., (1983) en un trabajo coordinado por la Agencia Internacional de la Energía Atómica en once países, obtuvo, para el modelo de Van Genuchten el mejor ajuste en comparación con el de Brooks y Corey. Pachepsky y Zbarschuk (1984) emplearon esta ecuación para elaborar un modelo matemático para el movimiento del agua en suelos expansivos. Esta función analítica también ha sido empleada en el programa SWATRE/SWACROP/SWAP para la simulación del balance hídrico y la producción de papas (Feddes et al., 1984).

CAPITULO 2: Generalidades sobre evapotranspiración.

Según Allen et al., (1998) evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. En el reporte de estos autores se define la evaporación y la transpiración de la forma siguiente:

Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas.

El cultivo inmediatamente después de un riego, está en condiciones de evaporar tanta agua como sea posible, lo cual depende de la cantidad de energía disponible. En este caso se obtiene un valor de evapotranspiración potencial. Cuando el agua de un suelo disminuye a un nivel dado, se desencadena el proceso que determina el cierre de los estomas. El proceso de evapotranspiración está limitado por el abastecimiento de agua y los valores obtenidos corresponden a evapotranspiración actual (Miller 1993) citado por Santana, (2008).

La magnitud de la evapotranspiración depende de la energía térmica determinada por la posición geográfica de la tierra irrigada, de la humedad del suelo y del tipo de cultivo agrícola (De Santa Olalla y De Juan, 1993).

Según Miller (1993) citado por De Santa Olalla (2005), entre los factores que afectan la evapotranspiración se encuentran los factores climáticos, la disponibilidad de agua en el suelo, el sistema radicular del cultivo, el índice de área foliar y los factores del cultivo. Estos últimos consisten en una serie de prácticas íntimamente relacionadas con el manejo. Entre ellas cabe mencionar el tipo cultivo, manejo de aguas freáticas, mulching, sombreado, fertilidad del suelo, aspecto nutricional y sanitario de la planta.

Tipos de evapotranspiración.

La literatura (Allen et al., 1998; De Santa Olalla y De Juan, 2005) refiere la existencia de varios tipos de evapotranspiración: evapotranspiración de referencia,

evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar y no estándar, evapotranspiración calculada, evapotranspiración real

Evapotranspiración de referencia (ET_o):

Smith et al., (1990) propusieron una definición basada en la ecuación de combinación de Penman-Monteith, según la cual la ET de referencia (ET_o) sería la tasa de ET de un cultivo hipotético con valores fijos de altura (12 cm.), resistencia de la cubierta vegetal (70 s m⁻¹) y albedo (0,23) que representa la ET de una superficie extensa cubierta de gramíneas verdes, de altura uniforme y crecimiento activo, que cubre completamente el terreno y no padece de falta de agua.

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)

Según Allen et al., (1998) la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

Evapotranspiración calculada (ET_c):

Es el resultado de todo cálculo de la ET por medio de fórmulas (Perrier, 1984 citado por De Santa Olalla y De Juan, 1993).

Para obtener entonces la Et de un cultivo dado (Etc) a partir de conocer la Eto se requiere entonces de los coeficientes de cultivo K_c (FAO 56, 1998) que según el análisis de Pereira et al., (2003) pueden expresarse como: $Etc = \alpha_o \alpha_c Eto$; donde el coeficiente de cultivo queda definido como $Kc = \alpha_o \alpha_c$ y representa el producto de dos coeficientes, α_o que representa la influencia del clima (a través de r_e) y α_c que representa la especificidad del cultivo con respecto al de referencia (con r_s).

Pereira et al., (1996) concluyen con su trabajo que si las características morfológicas de los cultivos son similares (igual r_a) entonces $\alpha_o = 1$, lo que induce a bajas variaciones en el α_c y por tanto una mejor estimación del K_c. Por tanto es necesario estandarizar los cultivos de referencia para grupos de cultivo con características morfológicas similares, los cuales podrían agruparse en tres grandes grupos con cultivos de referencia tales como pasto, alfalfa u otro similar de altura entre 0,5 y 0,7m y un tercero de altura entre 2 y 3 m semejante al maíz.

Evapotranspiración real (ET_r):

Es la que ocurre en un cultivo normal que se riega a intervalos y, por tanto la oscilación de la humedad en rangos más o menos amplios impide que alcance los valores máximos para cada fase de desarrollo (De Santa Olalla y De Juan, 2005). En la práctica, los cultivos se desarrollan en condiciones de humedad muy lejanas de las óptimas. Por este motivo para calcular por ejemplo la demanda de riego se ha de basar en la evapotranspiración real (Etr), la cual toma en consideración al agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla un cultivo determinado. Siempre y cuando el cultivo en consideración disponga de agua en abundancia (después de un riego o de una lluvia intensa) y en condiciones de buena aireación del suelo, Etr equivale a Etc.

2. Relación agua rendimiento.

En la publicación de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO No 33 se presenta una función linear sencilla para describir la relación entre el uso del agua por el cultivo y la productividad, útil para predecir la reducción en la productividad del cultivo cuando el estrés hídrico es inducido por la falta del agua del suelo:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_{c\ aj}}{ET_c}\right)$$

Donde:

Ky ó Ky factor de respuesta de la productividad [-]

ETcaj evapotranspiración ajustada (real) del cultivo [mm d⁻¹]

ETc evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (sin estrés hídrico) [mm d⁻¹]

El factor Ky describe la reducción relativa de la productividad en función a la reducción de la ETc generada por la falta de agua. Los valores de Ky (Ky) presentados en la publicación de la FAO No 33 son específicos de cada cultivo y pueden variar durante la temporada de crecimiento del cultivo. En general, la reducción de la productividad debido al déficit de agua es relativamente pequeña durante los períodos de desarrollo vegetativo y de maduración, siendo mayor durante los períodos de floración y formación del fruto.

Un factor de respuesta Ky superior a uno indica que será proporcionalmente mayor la pérdida relativa de rendimiento que el decrecimiento relativo en evapotranspiración. Se puede tomar como un indicador de en cuanto el cultivo es tolerante al estrés hídrico (Kirda, 1999, citado por González et al., (2009).

Doorenbos y Kassam (1979) citados por González et al., (2009) ubican a los diferentes cultivos en cuatro grupos en dependencia del valor del factor de respuesta del rendimiento (K_y): Grupo I: $K_y=0,7-0,8$; Grupo II: $K_y= 0,85-0,95$; Grupo III: $K_y=1,05-1,15$; Grupo IV: $K_y = 1,2$.

2.1. Particularidades de la relación agua suelo planta en el garbanzo

Rahman et al., (1983) plantean que es una planta resistente a la sequía. Aunque la semilla del garbanzo crece con la humedad acumulada en el suelo de la lluvia caída previamente, el grano responde positivamente a un riego suplementario. El riego en general mejora la nodulación e incrementa el rendimiento y el número de vainas.

Pacucci et al., 2006) en la localidad de Policoro, Italia evaluaron la influencia del riego suplementario en diez genotipos de garbanzo para seleccionar el más conveniente para una agricultura sustentable en el contexto de escasez de recursos de agua. Tres genotipos (Papá 34 y los cultivares Sultano y Pascià) mostraron un potencial productivo más alto en estas condiciones medioambientales que alcanzan los valores de 436 a 492 g.m². El riego suplementario sólo aumentó el rendimiento de tres genotipo (Papá 3, Papá 21 y cv. Crema) y este resultado puede explicarse con la sequedad excesiva durante los dos meses después del último riego suplementario.

De presentarse el estrés hídrico en la etapa de floración este puede disminuir la intensidad de la misma, debido a que ocurre el cierre estomático y como consecuencia directa hay un bloqueo de la fotosíntesis, lo que provoca una mala polinización debido a la baja fertilidad del polen, hay una aceleración de la senescencia de las hojas, teniendo un pequeño período de duración, y por tanto hay un mal llenado de los frutos con la consiguiente afectación al rendimiento (Hsiao et al., 1976).

Otros estudios indican que riegos durante el período de prefloración y al principio de la etapa de formación de las vainas producen incrementos importantes en las cosechas (Guerrero, 1992).

Anwar et al., (2003) encontraron en experimento desarrollado en el 2006 para investigar los efectos de regímenes de riego diferentes que el rendimiento de grano y sus componentes eran significativamente afectados por los regímenes de riego. Concluyeron que el riego después de consumirse 140 mm de agua medida en el evaporímetro clase A podría ser un régimen de riego conveniente para estos cultivares de garbanzo, cuando los recursos hídricos están limitados.

Es exigente al contenido de humedad en las etapas de germinación, la prefloración, floración y llenado de las vainas. En todas ellas el agua resulta determinante en el rendimiento y la calidad del grano (INIFAT, 1999).

Rajin et al., (2003) indican que el garbanzo, debido a su más bajo demanda de agua (evapotranspiración) se ha identificado como una cosecha alternada conveniente al trigo. Estos autores indicaron que el rendimiento de grano con el agua de riego siguió una función cuadrática y lineal con la evapotranspiración. La eficacia de uso de agua y evapotranspiración eran curvilíneos. El rendimiento de grano se afectó mucho con reducciones del riego durante el llenado de las vainas, independientemente de la textura del suelo.

Thomas y Fukai (1995), por su parte encontraron baja respuesta del garbanzo al agua al estudiar diferentes niveles de humedad en dos cultivares. Nielsen, (2001) sin embargo al comparar la respuesta al agua del trigo (*Triticum aestivum* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.), y lenteja (*Lens culinaris* Medik.), encontró que el garbanzo exhibió el mayor incremento en producción respecto al uso del agua ($10,6 \text{ kg.ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$), Recomendando además estas tres leguminosas con potencial para ser usados como cultivos resistentes a la sequía en las Grandes Planicies norteamericanas.

Se recomienda por el INIFAT, (1999) una norma parcial neta de $250 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ distribuidos en 2 riegos, incluido el de germinación, 2 durante el desarrollo vegetativo y 1 ó 2 durante el periodo de la floración y llenado de la vaina.

Se recomiendan dos riegos, incluido el de la germinación, se deben realizar uno o dos riegos durante el desarrollo vegetativo y dos riegos durante la floración y llenado del grano, con una norma parcial aproximada de 250 m^3 . El manejo del agua resulta determinante en el rendimiento del grano y debe tenerse presente el nivel de las precipitaciones (García y Chaveco, 1999).

INIFAP, (2011) recomienda aplicar el riego de presembrado y dos de auxilio. El primer auxilio de 30 a 35 días de la emergencia y el segundo de 20 a 30 días después del primero.

En estudios hechos por García y Chaveco, (1999) los rendimientos globales fueron de 4,8 a $9,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ para cada milímetro adicional de agua aplicado. Sin embargo, Singh (1984) y Rahman et al., (1983) no encontraron relación consistente entre el nivel de riego y el rendimiento.

Thomas y Fukai (1995) informaron que la cantidad máxima de agua extraída del suelo ocurre en los 20 a 40 cm de profundidad del suelo y muy poca agua se extraía por debajo de los 130 cm.

2.2. Particularidades de la relación agua suelo planta en el cultivo del frijol.

El agua es tan importante para el crecimiento de cualquier planta, que no sorprende que el crecimiento y rendimiento final de un cultivo de frijol dependan mucho de la disponibilidad de agua. Dentro de los papeles principales del agua se incluyen su uso como reactivo de fotosíntesis, elemento estructural, medio de transporte y regulador de temperatura.

La sequía es uno de los factores más limitantes en la producción y calidad de los cultivos a nivel mundial (Kuruvadi y Aguilera, 1992 y 1994). El frijol común es considerado como un cultivo de baja tolerancia a déficit severo de agua; sin embargo, casi 60 % de la producción en América Latina está sujeta a déficit moderado a severos de agua (Rosas et al., 1999). El déficit hídrico en el suelo provoca en las plantas una reducción en la absorción de agua, la cual produce respuestas diferenciales sobre los cultivos (Rojas Bolaños, et al, 1990).

Duarte (1990), planteó que el rendimiento del f frijol se afecta notablemente desde la 24 h de inundación, con 96 h se produjo una reducción del 94 %. La inundación durante la floración afectó el desarrollo normal de la planta, el rendimiento, el número de vainas por plantas y el peso de 100 granos (Thuang y Cunha, 1992). Según estudios realizados por Burin et al., (1991), precipitaciones excesivas después del estado de floración provocan un alto % (77) de abscisión floral. Cuando las raíces están en un ambiente completamente saturado en agua, el oxígeno llega a ser un factor limitante y el funcionamiento de las raíces sufre notablemente (Write, 1985).

Moran y Barrales (1990); Gutiérrez, (1990); Acosta et al., (1991); Acosta y Adams (1992); Bergamaschi et al., (1992); Stone y Moreira (1992), plantearon que las etapas más susceptibles a la deficiencia de agua son: floración, formación y crecimiento de las vainas.

La falta de agua en las raíces, desarrolla tensiones hídricas que alteran las funciones normales, provocando un desequilibrio fisiológico. El rendimiento de los cultivos responde de manera muy compleja (Álvarez et al., (1990). Las variedades tardías pueden volverse inútiles porque no hay suficiente agua para alcanzar su potencial de crecimiento (Write, 1985).

Un buen rendimiento se relaciona con la utilización eficiente del agua (Khade et al., (1992; Duarte, 1990). Yontes et al., (1991) y Gallardo y Paredes, (1991), plantean una cantidad de agua entre 30 y 40 cm. Incluyendo riego y precipitaciones, produce el máximo rendimiento de frijol. Los estudios realizados por Samadi y Sepasckhah (1991), sugieren el riego suplementario por surcos común en el estado de llenado de las vainas para obtener el mayor rendimiento.

2.3. Particularidades de la relación agua suelo planta en el maíz.

2. 3.1 Importancia del riego en el maíz.

El riego suplementario es una herramienta que puede ayudar a aumentar la productividad y fundamentalmente a estabilizar los rendimientos, lo cual le da mayor certidumbre al negocio agrícola (Martellotto et al., 2002; Vallone et al., 2003).

El riego complementario es una técnica que produce un impacto significativo en la producción al potenciar los beneficios del resto de las prácticas tecnológicas implementadas. El riego permite evitar deficiencias hídricas, lo que hace posible mantener el rendimiento a niveles óptimos, siempre que los demás factores no sean limitantes. El empleo del riego no descarta, sino requiere, el uso adecuado de las demás medidas de manejo, y no siempre resulta económicamente viable (Vidal, 2003).

Puiatti et al., (1985); Rivetti et al., (2001); García y Cabrera, (2002); García, (2005); Foncelli, (2006) y Capozzi et al., (2006) han abordado en sus estudios la importancia del riego y la buena nutrición en el maíz, y refieren que con esta actividad se pueden lograr aumentos en el rendimiento de aproximadamente 50% con respecto al de secano.

Rivetti, (2007) establece que el riego complementario del maíz suscita actualmente grandes expectativas, pues se ha demostrado que su uso racional permite acceder a altos niveles de rendimiento aún en años secos, y produce un incremento en el aprovechamiento de los fertilizantes, lo cual hace disminuir su impacto en los costos.

La propia autora plantea que en el manejo integrado del cultivo de maíz, tendiente a obtener altos rendimientos en forma consistente, la buena administración del agua es un eslabón esencial, por lo que lo primero que se debe lograr es que el agua se infiltre en el suelo y no se encharque o se pierda por escurrimiento superficial (que suele provocar erosión). Para ello el suelo debe estar en buena condición física, es decir, no

debe estar compactado ni demasiado pulverizado, ni debe tener piso de arado o de disco.

La incorporación del sistema de riego trae aparejado un cambio en la forma de producir. Por lo tanto, resulta necesario tener en consideración varios factores antes de realizar una adopción apresurada de esta tecnología. Las condiciones que hacen factible el uso del riego en maíz son: disponibilidad de fuentes de agua naturales, topografía adecuada para la sistematización para riego por gravedad, manejo de épocas de siembra e híbridos para lograr reducir la demanda pico, sistemas de producción diversificados como lo son las rotaciones de cultivos y pasturas que permiten la utilización del riego en más cultivos (Vidal, 2003).

Según FIRA, (2007), los insumos que más elevan los costos de producción de maíz de riego son: 1) uso de fertilizantes químicos (25 %), que se aplican en forma empírica de manera indiscriminada (hasta más de 1 t. ha⁻¹); 2) costo del agua de riego (18 %), debido al empleo de grandes volúmenes donde la fuente de abastecimiento son pozos profundos con bombeo eléctrico sin contar con información sobre lámina, calendarios, trazos de riego; y 3) control de plagas (13 %).

Según Contreras et al., (2004) y Currie et al., (2004) el balance hídrico regional (se refieren a Argentina) se caracteriza por ser imprevisible, y manifestar extremos hídricos como ser el riesgo de sequías e inundaciones y de poseer deficiencias que se producen marcadamente durante el verano. Lo que lleva a concluir que es conveniente abastecer de agua al cultivo por medio del riego en épocas desfavorables.

En consecuencia puede esperarse que el maíz, durante su ciclo, experimente un balance hídrico desfavorable negativo en toda la región (también se refiere a Argentina), por lo cual es importante desarrollar una estrategia para que el cultivo no padezca estrés hídrico en ninguna de sus fases fenológicas hasta grano lechoso, donde el maíz ya no advierte caídas considerables en los rendimientos (Contreras et al., 2004).

2.3.2 Necesidades hídricas del cultivo del maíz

El cultivo de maíz tiene una elevada susceptibilidad a deficiencias de agua en un periodo cercano a la antesis, por lo cual los riesgos climáticos para la producción son mas elevados que en otros cultivos como soja y girasol (Dardanelli, 2002). El maíz,

además, tiene menor capacidad de absorción de agua que soja y girasol (Dardanelli, 2002 y Osuna et al., 2006).

Según Andrade et al., (1996) y Andrade y Sadras, (2000) el rendimiento queda determinado por la manera con que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. A su vez, el crecimiento de un cultivo depende de la radiación interceptada, de la capacidad de canopeo para interceptarla (Ef. de intercepción) y de la eficiencia con que el cultivo transforme la radiación interceptada en materia seca (Ef. de conversión).

Por su sistema fotosintético (C4), el maíz es muy eficiente en comparación con el trigo y la soja para convertir la radiación en biomasa (EUR: 3-3.5 g/MJ), (Ortegui et al., 2006).

Una forma de expresar el rendimiento del maíz es conocer la producción de materia seca (biomasa) y el índice de cosecha (relación kg granos.kg biomasa aérea⁻¹) del cultivar. Sin embargo, bajo ciertas condiciones este índice de cosecha puede variar (Ortegui, 1992; Ortegui et al., 1995; Ortegui et al., 2006).

Por lo tanto la forma más correcta de expresar el rendimiento de éste cultivo consiste en multiplicar el número de granos por unidad de superficie por su peso medio. Ahora bien, el número de granos por unidad de superficie de cultivo, es función del número de granos por espiga, el número de espigas por planta y el número de plantas por superficie. Por otra parte, el peso medio de los granos resulta del efecto combinado que ejercen dos factores concurrentes: la duración del periodo efectivo de llenado y la tasa de llenado (Andrade et al., 1996). Dentro de los dos componentes que dan lugar al rendimiento, el número de granos por unidad de superficie es mucho más variable que el peso del grano (Ortegui et al., 2006).

Fortis et al., (2006) en México compararon el efecto del riego sub-superficial y el de gravedad sobre las características agronómicas y de calidad del forraje de maíz. Los resultados alcanzados muestran que el riego sub-superficial incrementó el rendimiento de materia seca respecto al riego por gravedad hasta en 160 %.

Rivetti (2004), dividió el ciclo del cultivo en 3 etapas (pre-crítico, crítico, post- crítico) con diferentes programas de riego, sin obtener diferencias significativas de rendimiento entre ellas, con valores promedios entre 14.700 y 16.100 kg.ha⁻¹ para el híbrido Nidera AX 884. Con respecto a Materia Seca (MS) Barbieri et al., (2001); Barbieri et al., (2005) y Barbieri et al., (2006) en ensayos realizados en Balcarce, en

secano, encontraron producciones entre 16.270 y 22.770 kg.ha⁻¹, con la utilización 140 kg de N.ha⁻¹.

En Río Cuarto, se obtuvieron producciones de Materia seca de 34.600 kg.ha⁻¹ cuando se regó el cultivo durante todo el ciclo, mientras que en secano la disminución en el rendimiento de MS fue del 70% (Rivetti, 2004).

Según SLHFARM (2009), la evapotranspiración total (uso consuntivo) del maíz sembrado varía desde los 500 a 550 mm para la campaña agrícola. El uso diario del maíz varía desde 2 mm diarios durante etapas iniciales hasta 6,5 mm diarios en los días antes de maduración. Luego baja hasta 3 mm diarios en los días antes de maduración completa. La zona radicular del maíz profundiza más de 1 metro si el suelo no tiene mucha compactación. La eficiencia del uso del agua (EUA) para el maíz es de entre 19 y 25 kg de grano por mm de agua consumido (Caviglia y Paparotti.1999).

Bravo y Chan (1987) estudiaron la eficiencia en el uso del agua de riego en maíz híbrido H220, probaron niveles de abatimiento de 40, 60 y 80 % de humedad, dosis de nitrógeno de 120 y 240 kg ha⁻¹ y densidades de planta de 40 000; 80 000 y 120 000 por hectárea, y encontraron que el rendimiento de grano mostró una relación directa con los factores estudiados.

Según Ortegui et al., (1995) con una aplicación de 30 t.ha⁻¹ de materia orgánica más 30 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, realizando a tiempo el riego de siembra, el rendimiento de maíz fue de 4.0 t.ha⁻¹, sin embargo, con una aplicación de seis riegos a través del desarrollo del maíz, el rendimiento aumentó a 9.0 t.ha⁻¹.

Según Pedrol et al., (2008), en un ensayo realizado en el INTA EEA Reconquista, Santa Fe se obtuvieron rendimientos de 7829 kg.ha⁻¹ con riego y 2289 kg.ha⁻¹ sin riego en la campaña 2000/01; y 5595 kg. kg.ha⁻¹ en la campaña 2002/03 con riego. Contreras et al., (2004), estudió el efecto del riego sobre la productividad del maíz con rendimientos corregidos por humedad, con una superioridad del riego por mantos con 9087 kg.ha⁻¹ frente al riego por platabandas con 7946 kg.ha⁻¹. La diferencia entre ensayos fue que en esa campaña se sembró mas tarde (octubre) y se utilizó un híbrido "tropical" de mayor altura.

Cargill, (1996) planteó que en todo el ciclo, el maíz requiere 500 – 600 mm de agua. El máximo consumo diario se da en el periodo que va desde la octava y novena hoja que es cuando se comienza a formar la espiga.

El crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz son afectados en diferente grado, no sólo por la intensidad y duración de las deficiencias de humedad sino también a la fase fenológica en que éstas se presentan (Claassen y Shaw, 1970). La fase más susceptible a períodos cortos de deficiencias de humedad es durante el período alrededor de la emergencia de estigmas, seguida en orden decreciente de vulnerabilidad por el inicio de crecimiento de mazorca y el período vegetativo (Claassen y Shaw, 1970; Reta et al., 2000). Durante el crecimiento vegetativo, la etapa más temprana susceptible a deficiencias de humedad es la diferenciación de órganos reproductivos, en la cual el rendimiento de grano puede disminuir de 12 a 27 %, debido a la reducción del número de granos por mazorca (Claassen y Shaw, 1970; Lorens et al., 1987; Jama y Ottman, 1993). Algunos estudios consignan que períodos cortos de deficiencias de humedad entre las etapas de diferenciación de órganos reproductivos y emergencia de estigmas, no presentan efectos significativos sobre el rendimiento de grano (Claassen y Shaw, 1970). Sin embargo, en estudios donde el período de deficiencia de humedad fue más prolongado durante el inicio de crecimiento de mazorca (dos semanas antes de emergencia de estigmas), el rendimiento de grano disminuyó de 29 a 40 %, debido a la reducción del número de granos por mazorca (D'Andria et al., 1997).

Las deficiencias de humedad durante la formación y llenado del grano pueden provocar una disminución del número de granos por mazorca y/o el peso medio del grano, de acuerdo con la intensidad, duración y fase en que éstas ocurren. Rivetti, (2006) encontró que deficiencias de humedad durante la fase de formación del grano (10 a 14 días después de la emergencia de estigmas) no provocaron reducción en el rendimiento. Sin embargo, en otros estudios se encontró que deficiencias dentro del período de dos semanas después de la emergencia de estigmas redujeron el rendimiento de grano de 16 a 40 %, debido principalmente a una disminución de 16 a 39 % en el número de granos por planta (Claassen y Shaw, 1970; Grant, 1989).

Por otra parte, se ha encontrado que deficiencias de humedad durante el período de llenado del grano pueden reducir el rendimiento de 29 a 53 %, al disminuir el peso medio de grano de 19 a 49 % (Claassen y Shaw, 1970; McPherson y Boyer, 1977; Jurgens et al., 1978; Grant, 1989).

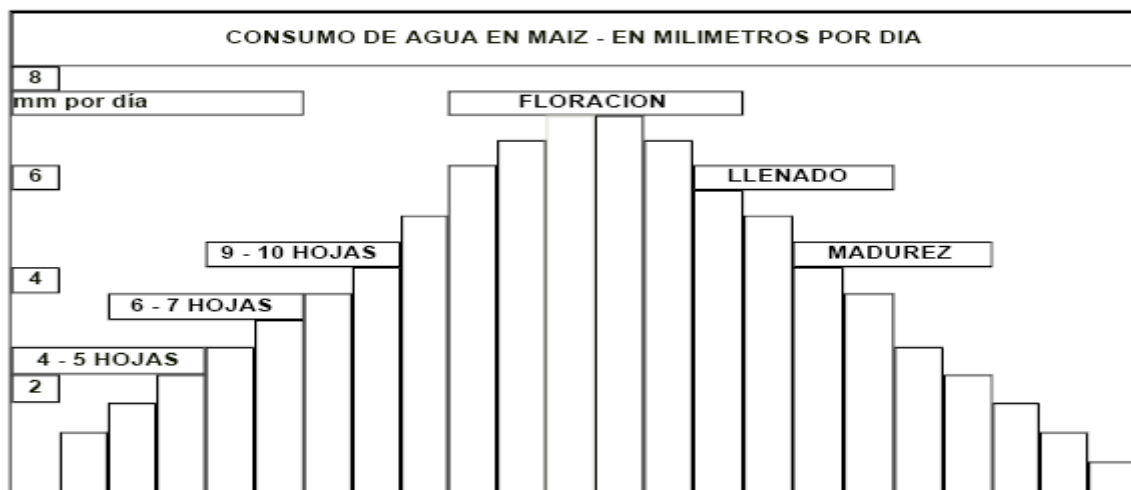
Asegurar una humedad adecuada en la zona de raíces durante las etapas críticas es esencial para obtener rendimientos óptimos. Las etapas más críticas del maíz, desde el punto de vista hídrico, son durante la floración y el jiloteo (Panda et al., 2004). El

maíz es un cultivo más sensible al estrés hídrico que otras gramíneas como trigo o sorgo. Los requerimientos de riego de los cultivos varían, temporal y espacialmente, en función del clima, del manejo, de la fase y de la variedad del cultivo, por lo que su cálculo debe ser local (Doorenbos y Pruitt, 1977). La implantación de un programa de uso eficiente del riego requiere certidumbre del cálculo de los requerimientos de riego. Rivetti, (2004, 2006 y 2007) plantea que el maíz tiene un requerimiento variable de agua en sus distintas etapas de crecimiento y desarrollo.

Puiatti et al., (2008) afirman que en el total del ciclo, el maíz requiere 500 a 600 mm de agua. El máximo consumo diario se da en el período que va desde la 8ª o 9ª hoja, que es cuando comienza a formar la espiga y se define el rendimiento potencial máximo de la planta, hasta fines del llenado del grano, donde requiere unos 300 mm.

En la zona maicera central de Argentina esos momentos coinciden, para siembras de principios de septiembre, con los meses de diciembre y enero. En esa misma época es cuando se produce la mayor probabilidad de déficit de agua, por insuficiencia de lluvias. Esto lleva a considerar la necesidad del riego complementario.

Según Anónimo (2008) de forma general los requerimientos hídricos del cultivo en zonas tropicales se distribuyen según se observa en la figura siguiente:



CAPITULO 3: Estudio sobre necesidades hídricas en los cultivos.

3. Estudio sobre necesidades hídricas en los granos

De forma general, las investigaciones que han abordado el estudio del tema donde se desarrolla la producción de granos han evaluado diferentes variantes de manejo del régimen de riego en los cultivos del garbanzo, frijol y maíz, se utilizan los datos climáticos y de suelo de la zona en estudio, con los datos de textura promedio a la profundidad de 0-45 cm, se calculan por regresión varios pares de valores (θ ; h), aplicándose las ecuaciones de Rawls (Rawls, 1982). Posteriormente con los pares de valores calculados se obtuvo la curva tensión humedad del suelo ajustada al modelo de Van Genuchten, (1980). Para el cálculo de sus parámetros hidrodinámicos se empleó el software **RECT** (Van Genuchten, 2000). Aplicándose métodos numéricos de cálculo se obtienen las curvas de Brooks y Corey Y Gardner. Estas se obtuvieron bajo el supuesto de que cuando un suelo presenta una humedad correspondiente a la capacidad de campo, el agua está retenida a 0,33 bares en los suelos arcillosos y 0,10 bares en los suelos arenosos, mientras que si el suelo posee una humedad correspondiente al punto de marchitez permanente, el potencial mátrico es de 15 bares. Para la medición de los datos biométricos de los cultivos, se muestrean semanalmente la altura, número de hojas activas y diámetro del tallo. Los datos se procesan mediante un análisis de varianza de clasificación doble y las medias se comparan mediante la prueba de Tukey al 5 % nivel de significación, para lo cual se utiliza el paquete estadístico INFOSTAT (versión 1.1).

3.1. Resultados de investigaciones desarrolladas en el mundo

3.1.1. Cultivo del Garbanzo

Morales et al., (2004) al referirse a la norma de riego a aplicar para siembras que se realicen en diciembre en México plantearon que bajo este sistema de producción, se aplica el riego de presembrado de 20 a 25 cm de lámina, y el primer riego se debe realizar a finales de febrero o principio de marzo, por lo que la siembra deberá efectuarse en diciembre para que el cultivo se encuentre en la etapa de floración para el primer riego de auxilio y en desarrollo de grano para el segundo, mientras que en las siembras que se realicen en enero el potencial de rendimiento se baja hasta en un 30% ya que el período de crecimiento se acorta y las condiciones de clima no son las adecuadas para el desarrollo óptimo del cultivo. Este sistema se utiliza principalmente

cuando las lluvias de invierno no permiten sembrar en fecha óptima. Bajo éste sistema deberá usarse alta población de plantas (mayores de 250,000 plantas/ha). Se sugiere sembrar en surquería de 90 a 100 cm con doble hilera de siembra a 30 cm de separación entre hileras, lo que permite dar pasos de cultivadora y aplicar los riegos de auxilio adecuadamente. Se recomienda iniciar el primer riego de auxilio en el inicio de floración y el segundo en el período de llenado de grano.

Por otra parte INTA (2007), plantea que en Argentina el cultivo prospera favorablemente con 350 a 400 mm durante su ciclo, no debiendo faltarle humedad especialmente en el período de floración y formación de granos. Para lograr buenos rendimientos, serán necesarios tres ó cuatro riegos, teniendo la precaución de no mojar el cuello de las plantas para evitar la propagación de enfermedades.

Al respecto Mateo (1961), reporta que las variedades oriundas de la región Mediterránea presentan pesos de 1000 granos con valores entre 280 y 470 g, mientras que las originarias del sur de Asia, muestran este parámetro en el orden de 94 a 128 g.

3.1.2. Cultivo del Maíz

Doorenbos y Pruitt, (1977) y Doorenbos y Kassam, (1986), mencionan que el maíz consume entre 400 y 700 mm de agua. Según Benacchio, (1982) el maíz desde la siembra a la madurez requiere de 500 a 800 mm, lo cual depende de la variedad y del clima. Su requerimiento promedio de agua por ciclo es de 650 mm. Lavastida et al., (1997) recomendaron para las condiciones de México aplicar de cinco a siete riegos con normas parciales altas y un total que oscila entre 75 y 80 mm en todo el ciclo.

En cuanto al parámetro peso de 1000 granos, en estudios realizados por Andrade et al., (1996) y Pandey et al., (2000) en el maíz, también encontraron disminución en el peso del grano cuando provocaban déficit de agua en el cultivo, durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases del crecimiento vegetativo

Rivera et al., (2004) reportaron un estudio sobre un suelo franco arcilloso para evaluar la respuesta del maíz forrajero en riego por goteo subsuperficial. Se probaron cinco tratamientos, que consistieron en aplicar cantidades de agua equivalentes a porcentajes del 100, 90, 80, 70 y 60 por ciento de la evapotranspiración real del maíz (ET_r); en estas condiciones se aplicó una lámina máxima de 59,6 cm (596 mm) en riego por goteo subsuperficial, equivalente al 100 por ciento de la ET_r. Montemayor

(2007), reportó láminas de riego de 45 cm (450 mm) en México como lámina óptima para el maíz forrajero. Rivetti, (2007) en Argentina reportó láminas de riego complementarias óptimas en el rango de 300 a 360 mm en todo el ciclo para maíz de grano. REGAMATIC, (2009) recomienda láminas de riego que oscilan entre 120 y 216 mm. Sáenz et al., (2008) reportaron en Argentina para maíz en grano láminas que oscilaron entre 236 y 461 mm para el 50 y el 100 % de la Etr respectivamente durante la campaña de siembra 2005 a 2006 y láminas que variaron entre 92 y 184 mm en la campaña 2006-2007.

Puiatti et al., (1995) en ensayos realizados en Río Cuarto (Argentina), indican que la respuesta del cultivo al riego complementario es altamente significativa, lo que hace recomendable esta práctica en la región semiárida y subhúmeda de éste país similares a las que se presentan en la actualidad en la zona norte de Las Tunas.

Barbieri et al., (2001) en ensayos realizados en Balcarce (Argentina), en secano, encontraron producciones entre 16,27 y 22,77 t.ha⁻¹, con la utilización de 140 kg de N.ha⁻¹. En Río Cuarto (Argentina) Rivetti, (2004), obtuvo producciones de Materia Seca de 34,6 kg.ha⁻¹ cuando se regó el cultivo durante todo el ciclo, mientras que en secano la disminución en el rendimiento de Materia Seca fue del 70%. Sáenz, et al, (2008) encontraron en Argentina al comparar tratamientos bajo riego y en secano en dos años diferentes que durante el primer año del ensayo los tratamientos de riego fueron superiores como respuesta a un año seco, con una participación muy importante de tratamientos con riego 100 % entre los de mayor rendimiento de grano. Durante el segundo año los rendimientos más elevados se obtuvieron en tratamientos con 50 % de riego. Según estos autores probablemente el riego 100 % sea excesivo en años húmedos y señalan además que en las regiones semiáridas con suelos arenosos y permeables es factible alcanzar rendimientos moderados (aproximadamente 60 % del potencial en condiciones no salinas) y estables mediante el riego por aspersión con agua salina.

CAPUTILO 4: Investigaciones desarrolladas en la provincia de Las Tunas.

4.1 Resultados de investigaciones desarrolladas en la provincia de Las Tunas sobre necesidades hídricas en el cultivo de los granos.

4.1.1 Cultivo del Garbanzo

Se estudio el efecto de las variaciones del régimen de riego en un suelo Pardo Sialítico Mullido y según recomendaciones de INFOAGRO, (2011) la profundidad máxima de las raíces en las Fases I y II del ciclo (0-20 días y 20-50 días después de la siembra respectivamente) es de 0,20 m y en las fases III y IV (50-80 días y 80-120 días después de la siembra respectivamente) es de 0,40 m.

Tabla 1. Indicadores del régimen de riego aplicado en el cultivo del garbanzo.

Indicadores de régimen de riego	Fase	Tratamientos								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ln: Lámina neta (mm)	I y II	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	
	III y IV		32,5		32,5		32,5	32,5		
Fr: Frecuencia de riego (Fr)	I y II	5	7	10	14	15	20	21	28	0
NR: Número de riegos (u)	I y II	4	4	3	3	2	2	1	1	0
Mtn: (m ³ .ha ⁻¹)	-	1000	1000	750	750	500	500	250	250	0

Es notable que en los dos primeros meses, en los cuales el cultivo transita por dos fases fenológicas muy importantes para la definición de los rendimientos, se alcanzaron niveles de humedad satisfactorios en las fases I y II por la conjunción que se logró entre el riego aplicado y las lluvias caídas en febrero. En todas las fases fenológicas el mayor número de riegos aplicados (Tabla 1) se alcanzó con las variantes A y B de aplicación de riego con una frecuencia de cinco y siete días con

cuatro riegos en todo el ciclo, mientras la variante menos irrigada fue la C sin aplicación de riego. En correspondencia con este indicador del régimen se comportó la lámina o norma total de riego aplicada (Mtn), la cual como es lógico alcanzó el mayor valor en la variante aplicación de riego a los 5 y 7 días donde se aplicó una norma de $1000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$

Si se comparan los valores de normas de riego aplicadas en las variantes experimentales de este trabajo se observa como los mismos difieren, al estar en un caso muy baja ($0 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$), y en otro caso muy alta ($1000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$). Esto es importante tenerlo en cuenta para lograr un manejo adecuado del riego en las condiciones de clima subhúmedo seco que imperan en el norte de Las Tunas.

Tabla 2. Efecto de la variación del régimen de riego en las diferentes variantes sobre la altura de la planta en el cultivo del garbanzo.

Tratamientos	Mediciones biológicas: altura de la planta				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	6,00 b	8,20 b	10,60 b	15,00 c	17,20 d
B	6,60 a	8,60 a	11,60 a	16,00a	18,80 a
C	5,60 d	7,80 d	9,80 e	10,40 d	16,40 e
D	5,60 c	8,00 c	10,40 c	15,40 b	17,80 b
E	5,00 f	7,00 e	9,00 g	13,60 f	15,40 g
F	4,20 h	6,00 g	8,20 h	12,80 h	14,60 h
G	5,40 e	7,00 e	10,00 d	14,20 e	17,40 c
H	4,60 g	6,40 f	9,20 f	13,20 g	16,20 f
I	3,60 i	5,00 h	7,20 i	12,00 i	13,80 i
Cv (%)	14,6	12,3	6,0	6,75	3,9
Es	0,5500	0,7300	0,3400	0,6300	0,4200
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)					

Sin embargo para la planificación adecuada de los riegos en el cultivo deberá también tenerse en cuenta las consideraciones de autores como Doorembos y Kasam, (1986) y Giralt, (2000) y González et al., (2009), los cuales indican que el garbanzo como la

mayoría de los cultivos responden mejor a la frecuencia que a la cantidad total de agua, o sea, que se pueden obtener similares resultados biológicos en un cultivo aplicándole dos dosis de riego diferentes, pero diferentemente fraccionadas, siendo posible incluso que se obtengan mejores resultados cuando el riego se aplica con alta frecuencia, pero en bajos volúmenes. García Medina, (2002) enmarcan las necesidades hídricas totales del garbanzo para un ciclo de 90-120 días entre 350-400 mm (3500 a 4000 m³.ha⁻¹).

Tabla 3. Efecto de la variación del régimen de riego en las diferentes variantes sobre el número de hojas en el cultivo del garbanzo.

Tratamientos	Mediciones biológicas: numero de hojas				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	4,00 c	8,40 d	11,40 b	20,50 c	27,00 b
B	5,20 a	10,60 a	11,80 a	22,80 a	27,40 a
C	3,40e	7,80 f	11,20 c	19,20 e	26,52 c
D	4,60 b	9,40 b	10,80 d	21,20 b	26,00 d
E	3,00 f	7,00 g	10,20 f	18,40 g	25,20 e
F	3,00 f	6,00 h	9,20 h	17, 80 h	24,20 g
G	3,60 d	8,80 c	10,40 e	19,80 d	24,20 f
H	3,60 d	8,40 e	9,60 g	19,00 f	23,20 i
I	2,60 g	5,00 i	8,80 i	17,00 i	23,60 h
Cv (%)	13,28	5,14	5,7	7,84	4,5
Es	0,2500	0,1800	0,3600	0,9800	1,2751
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey (p<0,05)					

Las variaciones realizadas en el régimen de riego, a partir del establecimiento de diferentes intervalos de riego para el cultivo tuvieron una manifestación notable sobre la altura de la planta (Tabla 2) y el sólo hecho de aplicar las variaciones en el riego fue a su vez la causal del incremento en los valores de todos los tratamientos en comparación con el tratamiento sin aplicación de riego. Se observa como a medida que el intervalo de riego se alargó la tendencia que mostró la planta fue disminuir su

crecimiento, siendo la variante B la de mejores resultados difiriendo significativamente con el resto de los tratamientos. Se observaron diferencias significativas estadísticamente ($p \leq 0,05$) entre casi todos los tratamientos.

Las variaciones observadas respecto a la altura de la planta tienen su explicación, ya que a medida que el intervalo de riego se alargó se aplicó una menor cantidad de riegos, y con ello disminuyó la norma total de riego aplicada y las respuestas de la planta responden a estas variaciones.

Tabla 4. Efecto de la variación del régimen de riego en las diferentes variantes sobre los componentes del rendimiento en el cultivo del garbanzo.

Tratamientos	Número de vainas por plantas (U)	Numero de semillas por vaina (U)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t. ha ⁻¹)
A	201 b	1,08 a	320,0 b	4,62 b
B	210 a	1,07 b	323,8 a	4,85 a
C	191 c	1,02 c	292,6 d	3,98 e
D	198 d	1,02 c	320,0 c	4,52 c
E	163 e	1,00 d	261,0 g	3,05 f
F	140 f	1,00 d	237,0 h	2,36 h
G	191 g	1,00 d	282,0 e	4,11 d
H	154 h	1,00 d	262,0 f	2,85 g
I	122 i	1,00 d	216,8 i	1,90 i
Cv (%)	11,6	4,69	4,8	9,8
Es	0,1246	0,0024	0,3373	0,1150
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$).				

De acuerdo a la opinión de Acevedo y Silva (2005), cuando las necesidades hídricas del cultivo quedan insatisfechas, la respuesta de la planta a nivel celular se manifiesta en una disminución en la extensión celular y expansión foliar, por causa de la restricción hídrica a que se somete el suelo, lo cual reduce la velocidad de crecimiento.

Las variaciones del régimen de riego tuvieron su efecto en el número de hojas en cada experimento pues a medida que el intervalo de riego se alargó se aplicó una menor cantidad de riegos por tratamientos y con ello disminuyó la norma total de riego aplicada pero se manifiesta en la respuesta (Tabla 3) de los tratamientos en las diferentes variantes de la aplicación de riego con una frecuencia de siete días de la variante B, ya que en las mediciones sobre este indicador disminuyeron los resultados con respecto a las demás variantes de aplicación de riego, que fue el que presentó los mejores resultados. La variante I sin aplicación de riego fue el que menor respuesta tuvo al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) de todos los demás tratamientos.

Al analizar el efecto que tuvo la aplicación del riego en las diferentes variantes sobre los componentes del rendimiento en el cultivo del garbanzo (Tabla 4), en todos los casos los resultados observados en la variante I sin riego estuvieron por debajo de las demás variantes, siendo la B la que obtuvo los mejores resultados. De forma general los mejores resultados se alcanzaron en la variante B en la aplicación de riego a los siete días y los peores en el tratamiento sin aplicación de riego. Se observa una relación entre el nivel de humedad alcanzado en cada variante con respecto a los valores, ya que estos disminuyeron en tanto lo hacía la humedad.

En el número de vainas por plantas (Tabla 4), entre las variantes con aplicación de riego, los mejores valores se obtienen en la variante B con una frecuencia de riego de siete días donde existen diferencias estadísticamente significativas con las demás variantes.

En el número de semillas por vainas entre las variantes se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque los mejores valores se encontraron en las variantes A y B con una frecuencia de cinco y siete días, aunque las variantes C y D no difieren estadísticamente entre ellas también obtienen buenos resultados; los peores valores se obtienen en las demás variantes.

Siguiendo el análisis de la tabla 4, en el parámetro peso de 1000 granos observamos que se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre todas las variantes y los mejores valores se encontraron en las variantes B con la aplicación de riego a una frecuencia de 7 días, en la variante I sin aplicación de riego se obtienen los más bajos resultados.

Los resultados son inferiores a los obtenidos por Delgado et al., (1996) que al evaluar la variedad Nacional 29, este parámetro osciló entre 428,6 y 432.5 g, para un promedio de 0,4 g/granos en Pinar del Río.

La aplicación de diferentes intervalos de riego que conllevó a la presencia de valores de humedad diferenciados en las diferentes fases del cultivo marcó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en el rendimiento en t. ha⁻¹, (Tabla 4) los resultados decrecieron a medida que la humedad del suelo por la variación del régimen de riego fue menor, así, los mejores valores se obtienen en la variante de la aplicación del riego a los siete días que presenta diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) con el resto de las variantes, los valores más bajos se obtiene en el tratamiento sin aplicación de riego al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos.

4.1.2 Cultivo del Maíz

Se estudio el efecto de las variaciones del régimen de riego en un suelo Pardo Sialítico Mullido y durante las etapas fenológicas I y II se consideró como capa activa una profundidad de raíces de 0,30 m y 0,50 m en las restantes etapas. Equivalentemente se manejaron los indicadores del régimen de riego durante la conducción del cultivo.

Las variantes más irrigadas (Tabla 5), fueron la A y la B con la aplicación de riego a los cinco y siete días con cuatro riegos en todo el ciclo. En correspondencia con este indicador se comportó la norma total de riego aplicada (Mtn), la que como es lógico alcanzó el mayor valor en dichas variantes con un total de 1000 m³.ha⁻¹.

Zamora et al., (1997) indicaron para las condiciones de Cuba la aplicación de normas de riego variables para las diferentes regiones agroclimáticas del país que oscilan entre 200 y 500 m³.ha⁻¹. Específicamente para los suelos pardos del norte de Las Tunas, estos autores indican la necesidad de aplicar normas de riego parciales netas de 250 a 300 m³.ha⁻¹ aproximadamente con 10 riegos en el ciclo lo que supone normas totales de 2500 a 3000 m³.ha⁻¹, por lo que los valores encontrados en esta investigación para el tratamiento B son superiores, no así en el caso del C que se encuentra cerca del valor mínimo. Los demás tratamientos no se enmarcaron en este rango.

Rivetti (2007), afirmó que el maíz tiene un requerimiento variable de agua en sus distintas etapas de crecimiento y desarrollo, el cual esta autora enmarca para las condiciones de Argentina en una rango de 500 a 600 mm de agua.

Tabla 5. Indicadores del régimen de riego aplicado en el cultivo del maíz.

Indicador	Fase Fenológica	Tratamientos								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ln: Lámina (mm)	I, II, III	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	
Fr: Frecuencia de riego (Fr)		5	7	10	14	15	20	21	28	0
NR: Número de riegos (u)		4	4	3	3	2	2	1	1	0
Mtn: (m ³ .ha ⁻¹)		1000	1000	750	750	500	500	250	250	0

Faz (2004), dijo que la magnitud de la lámina de riego depende del tipo de suelo donde se encuentre establecido el cultivo; de esta forma, en suelos con problemas de drenaje es conveniente aplicar láminas ligeras para no generar condiciones anaeróbicas, por el contrario, cuando el suelo es arenoso puede incrementarse el número de riegos.

Respecto al intervalo de riego la mayoría de los autores consultados se refieren fundamentalmente al número de riegos necesarios a aplicar en el ciclo y de forma general plantean que de cinco a siete riegos durante todo el ciclo son suficientes (Zamora et al., 1997; Faz, 2004; Rivetti, 2004 y 2007).

Al analizar el número de hojas (tabla 6), los mejores resultados se obtienen en la variante B de aplicación de riego a los siete días que supera estadísticamente a los

demás tratamientos aunque en algunas mediciones no difiere estadísticamente con la variante D con aplicación de riego a los 14 días. Los valores mas bajos se obtuvieron en la variante sin aplicación de riego al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos.

Tabla 6. Efecto de la variación del régimen de riego sobre el número de hojas en el cultivo del maíz.

Tratamientos	Mediciones biológicas: número de hojas				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	4,38 b	5,40 c	8,00 c	10,00 b	11,00 c
B	4,40 a	6,20 a	9,00 a	11,00 a	12,00 a
C	3,80 c	5,00 d	7,20 e	9,00 d	10,40 d
D	4,40 a	6,00 b	8,20 b	10,00 b	11,20 b
E	3,40 d	4,40 e	6,60 f	8,20 e	9,40 f
F	3,00 e	3,80 f	5,60 g	7,20 f	8,40 h
G	3,80 c	5,00 d	7,60 d	9,20 c	10,20 e
H	3,40 d	4,40 e	6,60 f	8,20 e	9,20 g
I	2,20 f	3,00 g	4,60 h	6,20 g	7,60 i
Cv (%)	15,5	14,93	13,9	11,7	8,5
Es	0,3100	0,3500	0,9200	1,0200	0,7000
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)					

Al analizar el parámetro longitud de las hojas (Tabla 7), los mejores resultados se observan en la variante A con la aplicación de riego a los siete días donde supera estadísticamente a las demás variantes. Los valores mas bajos se obtuvieron en el tratamiento sin aplicación de riego al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos.

Los mejores resultados en el parámetro longitud del tallo (tabla 8) se observan en la variante B de aplicación de riego a los siete días donde supera estadísticamente a los demás tratamientos aunque en la primera medición no difiere estadísticamente de la variante A de la aplicación del riego a los cinco días. Los valores mas bajos se obtuvieron en la variante I sin aplicación de riego al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos en todas las mediciones.

Tabla 7. Efecto de la variación del régimen de riego sobre la longitud de las hojas en el cultivo del maíz.

Tratamientos	Mediciones biológicas: longitud de las hojas				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	7,60 c	13,80 c	19, 60 c	21,60 b	29,60 b
B	8,60 a	14,92 a	20,63 a	22,62 a	30,40 a
C	7,00 d	13,00 e	18,80 d	20,40 e	28,60 c
D	8,00 b	14,00 b	19,80 b	21,54 c	29,60 b
E	6,60 e	12,20 f	18,00 e	20,00 g	27,80 d
F	5,60 f	11,20 g	16,80 g	19,20 h	27,00 e
G	7,60 c	13,20 d	18,80 d	21,00 d	28,60 c
H	6,60 e	12,20 f	17,80 f	20,20 f	27,80 d
I	4,60 g	10,20 h	15,60 h	18,20 i	26,00 f
Cv (%)	12,7	10,7	15,5	12,4	4,87
Es	0,7400	1,8100	1,9225	0,8980	1,9100
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)					

Los mejores resultados en el parámetro longitud del tallo (tabla 8) se observan en la variante B de aplicación de riego a los siete días donde supera estadísticamente a los demás tratamientos aunque en la primera medición no difiere estadísticamente de la variante A de la aplicación del riego a los cinco días. Los valores mas bajos se obtuvieron en la variante I sin aplicación de riego al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos en todas las mediciones.

Las variaciones observadas tanto en el número de hojas como en lo que respecta al crecimiento del tallo tienen su explicación, ya que a medida que el intervalo de riego se alargó se aplicó una menor cantidad de riegos, y con ello disminuyó la norma total de riego aplicada. Esto tuvo como consecuencia que la humedad promedio observada fuera baja y consecuentemente las tensiones de humedad del suelo se elevaran, lo cual a su vez es la causal de que la conductividad insaturada (Kns) tomara valores insatisfactorios. De acuerdo a la opinión de Acevedo y Silva (2005), cuando las

necesidades hídricas del cultivo quedan insatisfechas, la respuesta de la planta a nivel celular se manifiesta en una disminución en la extensión celular y expansión foliar, por causa de la restricción hídrica a que se somete el suelo, lo cual reduce la velocidad de crecimiento.

Tabla 8. Efecto de la variación del régimen de riego sobre la longitud del tallo en el cultivo del maíz.

Tratamientos	Mediciones biológicas: longitud del tallo				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	5,60 a	7,60 c	10,60 e	15,00 e	17,40 e
B	4,80 b	9,20 a	17,00 a	25,00 a	31,20 a
C	4,60 c	7,00 e	9,40 f	14,40 f	17,00 f
D	4,40 d	8,40 b	16,00 b	24,00 b	30,40 b
E	4,40 d	6,00 g	9,20 g	13,20 g	16,46 g
F	3,60 f	5,40 h	8,20 h	12,20 h	15,40 h
G	4,40 d	7,40 d	15,20 c	23,00 c	29,30 c
H	3,80 e	6,40 f	14,20 d	22,00 d	28,00 d
I	3,40 g	4,60 i	7,20 i	11,20 i	14,40 i
Cv (%)	13,6	16,6	8,9	7,5	4,54
Es	0,3300	1,4200	1,6400	2,2600	0,2725
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)					

Un efecto beneficioso tuvo la aplicación del riego sobre los componentes del rendimiento en el cultivo del maíz (Tabla 9), ya que en todos los casos los resultados observados la variante I sin aplicación de riego estuvo por debajo de todos los tratamientos, al diferir estadísticamente ($p \leq 0,05$) con ellos. De forma general se observa una relación entre el nivel de humedad alcanzado en cada tratamiento con respecto a los valores, ya que estos disminuyeron en tanto lo hacía la humedad.

En el número de mazorcas por planta se observó generalmente una mazorca por planta, aunque en las variantes A y B de la aplicación de riego a los cinco y siete días se obtuvieron resultados ligeramente superior (1,02 y 1,06 mazorcas por planta) en

el promedio y mostraron diferencias estadísticamente significativas con las otras variantes; en las demás variantes, independientemente del régimen de riego aplicado se alcanzaron similares resultados y no difieren estadísticamente entre ellas.

Tabla 9. Efecto de la variación del régimen de riego sobre componentes del rendimiento del maíz.

Tratamientos	Numero de mazorcas por plantas (U)	Longitud de la mazorca (cm)	Diámetro de la mazorca (cm)	Número de hileras por mazorca (U)	Número de granos por hilera (U)	Peso de las Mazorcas (U)	Número de granos. m ⁻² (U)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t. ha ⁻¹)
A	1,02 b	22,40 b	5,06 b	12,32 b	43,60 b	182 b	3064,34 b	2,86 b	8,89 b
B	1,06 a	22,60 a	5,24 a	13,00 a	44,56 a	188 a	3484,92 a	2,98 a	10,49 a
C	1,00 c	19,80 d	4,50 c	10,72 b	42,26 d	174 d	2589,8 d	2,78 d	7,21 d
D	1,00 c	20,40 c	4,40 d	11,32 c	42,86 c	180 c	2738,8 c	286 c	8,17 c
E	1,00 c	18,00 f	4,10 e	10,20 f	39,83 f	165 f	2363,4 f	2,70 f	6,43 f
F	1,00 c	16,60 h	4,00 f	10,00 h	37,40 h	160 g	2137,61 h	2,60 h	5,56 h
G	1,00 c	19,00 e	4,00 f	10,68 e	40,34 e	166 e	2470,6 e	2,77 e	7,02 e
H	1,00 c	17,00 g	4,00 f	10,20 g	38,40 g	156 h	2237,7 g	2,66 g	5,91 g
I	1,00 c	14,60 i	3,40 g	9,40 i	34,71 i	150 i	1860,6 i	2,49 i	4,50 i
Cv (%)	0,17	6,2	8,46	4,8	4,43	2,67	7,1	1,7	4,8
Es	0,0009	1,400	0,1300	0,6528	3,1306	1,1975	0,3281	0,2350	0,3840
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey (p<0,05)									

Respecto a la longitud de la mazorca, las variantes bajo riego alcanzaron valores que variaron entre 22,60 y 17, 00 cm, muy superiores a los 14,60 cm promedio medidos en la variante I sin la aplicación de riego, siendo la variante B, la de mejores resultados. Los peores resultados se obtienen en la variante I sin aplicación de riego.

Sin embargo, en lo referente al diámetro de la mazorca, el mayor promedio se midió en la variante B con aplicación de riego a los siete días que fue la que obtuvo los mayores resultados y mostrar diferencias estadísticas para Tukey ($p \leq 0,05$) con las demás variantes; los peores resultados se obtienen en la variante I sin aplicación de riego.

El número de hileras por mazorca, así como el número de granos por hilera, si fue influenciado de forma significativa tanto por la aplicación del riego, ya que los resultados son notablemente superiores en las variantes irrigadas en comparación con la variante sin la aplicación de riego, pues se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tratamientos. El número de hileras osciló entre 13 y 10,20 en las plantas de las variantes irrigadas, mientras que en la variante I sin la aplicación de riego se midieron promedios de 9.8 hileras; de igual forma el número de granos por hilera varió entre 44,56 y 38,40 para las primeras y sólo alcanzó promedios de 34,71 en la variante I sin la aplicación de riego.

El análisis estadístico correspondiente al número de granos. m^2 y peso de 1000 granos mostró diferencias significativas entre todas las variantes y una vez más mostró los beneficios de la aplicación del riego en cualquiera de las variantes de régimen de riego adoptada. La aplicación de diferentes intervalos de riego que conllevó a la presencia de valores de humedad diferenciados marcó diferencias significativas en estos indicadores y los resultados decrecieron a medida que la humedad del suelo era menor. Los promedios obtenidos en plantas irrigadas respecto al peso de 1000 granos oscilaron desde 298 g hasta 266 g y en el tratamiento sin la aplicación de riego solo alcanzó 256 g, mientras se obtuvieron valores entre 3484,92 y 2237,7 granos. m^2 en el caso de las plantas irrigadas y solo 1860,6 granos. m^2 en el tratamiento sin la aplicación de riego, obteniendo este los peores resultados. Respecto a la longitud de la mazorca, todos los tratamientos bajo riego alcanzaron valores que variaron entre 22,40 y 16,60 cm, muy superiores a los 14,6 cm promedio obtenidos en el tratamiento I sin la aplicación de riego.

Sin embargo en lo referente al diámetro de la mazorca, el mayor promedio se midió en la variante de la aplicación de riego a los siete días con 5,06 cm y que fue la que mayores beneficios recibió por el riego, los demás tratamientos mostraron diferencias estadísticas para Tukey ($p \leq 0,05$) entre ellos, siendo el tratamiento I, sin la aplicación de riego, el que obtuvo los valores más bajos con 3,40 cm.

El número de hileras por mazorca, así como el número de granos por hilera si fue influenciado de forma significativa tanto por la aplicación del riego, ya que los resultados son notablemente superiores en las variantes irrigadas en comparación con el tratamiento sin la aplicación de riego, pues se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tratamientos. El número de hileras osciló entre 12,32 y 10,00 en las plantas irrigadas, mientras que en el tratamiento sin la aplicación de riego se

midieron promedios de 9.4 hileras; de igual forma el número de granos por hilera varió entre 43,60 y 37,40 para las primeras y sólo alcanzó promedios de 34,71 en el caso sin la aplicación de riego siendo el de los más bajos valores.

El número de mazorcas por planta sólo mostró diferencias estadísticamente significativas en lo referente a la aplicación del riego a los cinco días pues en todas las demás tratamientos independientemente del régimen de riego aplicado se alcanzaron similares resultados. Se obtuvo generalmente una mazorca por planta, aunque en la variante de la aplicación de riego a los 5 días fue ligeramente superior con un promedio de 1,02 mazorcas por planta.

El análisis estadístico correspondiente al número de granos. m^2 y peso de 1000 granos mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos y una vez más mostró los beneficios de la aplicación del riego en cualquiera de las variantes de régimen de riego adoptada. La aplicación de diferentes intervalos de riego que conllevó a la presencia de valores de humedad diferenciados marcó diferencias significativas en estos indicadores y los resultados decrecieron a medida que la humedad del suelo era menor. Los promedios obtenidos en plantas irrigadas respecto al peso de mil granos oscilaron desde 286 g hasta 260 g y en el tratamiento sin la aplicación de riego solo alcanzó 2247 g, mientras se obtuvieron entre 3064,34 y 2137,16 granos. m^2 en el primer caso y solo 1860.6 en el tratamiento sin la aplicación de riego que fue el de menos resultado.

Los resultados mostrados coinciden con los obtenidos por Rivetti (2006), la cual indicó que el peso medio de los granos depende de la duración del período efectivo de llenado desde fecundación hasta la formación de la capa de abscisión en la base del grano (capa negra) y de la tasa de llenado y encontró una reducción significativa cuando el cultivo se desarrolló solamente con el aporte de agua de las lluvias. Esta autora también encontró que el peso de 1000 granos en el testigo sin riego fue 30 % menor (115 g) que el promedio de tratamientos regados que fue de 383 g (sin diferencia significativa entre ellos). La autora atribuye este fenómeno a lo observado por ella en el campo donde en el tratamiento sin riego se produjo una mayor senescencia foliar, disminuyeron los órganos fotosintéticamente activos, por lo tanto hubo menor disponibilidad de asimilados por grano, lo cual coincide con lo observado en este trabajo analizado anteriormente respecto al número de hojas activas y el crecimiento de la planta, parámetros estos en los cuales el testigo tuvo un mal comportamiento.

Según Andrade et al., (1996) el número de granos por unidad de superficie queda determinado durante el período cercano a floración (15 días antes y hasta 15-20 días posteriores a la floración), por lo tanto, en ese momento, el cultivo debería tener óptimas condiciones ambientales, agua y nutrientes para disminuir el porcentaje de abortos y, como consecuencia, aumentar el número de espiguillas fértiles. Pandey et al., (2000), encontraron que cuando no regaban en cuatro o más fases (vegetativas + reproductivas) del ciclo del cultivo, se reducía el número de granos entre 20 y 50 % comparados con el tratamiento control regado en todo el ciclo. A su vez, Ortegui et al., (1995) encontraron que disminuía el número de granos. m^2 cuando disminuía el agua disponible para evapotranspiración, lo cual coincide con los resultados de este trabajo. En cuanto al peso de 1000 granos, los resultados obtenidos concuerdan con la experiencia de Andrade et al., (1996) y Pandey et al., (2000) quienes también encontraron disminución en el peso del grano cuando provocaban déficit de agua en el cultivo, durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases del crecimiento vegetativo. De igual forma, Cakir, (2004) indica que los componentes del rendimiento (número de granos por m^2 y peso de 1000 granos) son significativamente afectados por déficit de agua en el perfil del suelo, lo cual corrobora los resultados obtenidos en el presente trabajo.

El rendimiento final obtenido (Tabla 9) estuvo muy relacionado con el comportamiento analizado antes para sus componentes; De forma general, los rendimientos oscilaron entre 10,49 y 5,91 $t.ha^{-1}$ en las diferentes variantes irrigadas y 4,62 $t.ha^{-1}$ en las variante sin la aplicación de riego, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tratamientos experimentales con los mejores resultados para los tratamientos de la aplicación de riego a los siete y cinco días respectivamente. En la variante I sin la aplicación de riego se obtuvieron los peores resultados en este parámetro.

En ambos casos, estos resultados superan los promedios históricos que se obtienen en Las Tunas y en el país de forma general, los cuales se hallan por debajo de 1 $t.ha^{-1}$. En Cuba tradicionalmente el riego del maíz se ha realizado con aplicaciones de agua que consideran el límite productivo como el nivel inferior de humedad a mantener y bajo este principio se aplica el riego con intervalos que oscilan entre 12 y 20 días que incluyen la suspensión de riegos durante la fase de establecimiento y su aplicación en el momento de inicio de la fase reproductivas, específicamente en el momento de la floración por ser esta una fase crítica.

Tabla 10. Indicadores del régimen de riego aplicado por tratamientos.

Tratamiento	Fase Fenológica	IR (días)	Lb (mm)	# Riegos	Mtn (mm)
A	I	-	25,5	1	25,5
	II				
	III				
	IV				
	V				
B	I	7	21,2	13	318
	II				
	III		35,4		
	IV				
	V				
C	I	10	21,2	10	254
	II				
	III		35,4		
	IV				
	V				
D	I	14	21,2	7	153
	II				
	III		35,4		
	IV				
	V				
E	I	21	21,2	5	120
	II				
	III		35,4		
	IV				
	V				

Los resultados de este trabajo indican que el cultivo tiene una notable respuesta a las variaciones en el intervalo de riego con resultados satisfactorios tanto en su desarrollo biológico como en el rendimiento final cuando se logra mantener una humedad adecuada durante todo el ciclo hasta después de la formación del grano. El manejo de un régimen de riego adecuado en cada momento del ciclo de vida del cultivo es importante para lograr incrementar los rendimientos. En esta investigación el incremento de los ingresos a través del manejo del intervalo de riego permitió la satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo en cantidad y momento óptimo en los tratamientos bajo riego sobre todo en las variantes de la aplicación de riego a los siete y cinco días, lo cual fue el factor esencial para lograr rendimientos satisfactorios en las condiciones de Cuba. Esto se deriva de planteamientos realizados por varios autores los cuales aseveraron que se ha demostrado que la sensibilidad del cultivo de

maíz al déficit hídrico declina en el siguiente orden: floración › llenado de granos › estado vegetativo. La ocurrencia de deficiencias hídricas severas durante la floración produce importantes reducciones en el rendimiento, lo cual coincide además con Doorembos y Kassam, (1979) y Andrade et al., (1996).

Rivetti (2004) dividió el ciclo del cultivo en tres etapas (pre-crítico, crítico, post- crítico) con diferentes programas de riego, sin obtener diferencias significativas de rendimiento entre ellas. Esta autora obtuvo valores promedios entre 14,7 y 16,1 t.ha⁻¹ para el híbrido Nidera AX 884.

Tabla 11. Balance hídrico observado.

Variante	Mt (mm)	Pa (mm)	K (%)	TI (mm)
A	25,5	250,5	90,2	303,8
B	318	207,6	70,6	525,6
C	254	216,1	73,5	470,1
D	153	243,4	82,8	396,4
E	120	251,7	85,6	371,7

Los resultados de este trabajo están muy por debajo de los reportados por Puiatti et al., (2008), los que obtuvieron un rendimiento promedio en un testigo sin riego, de 13,699 t.ha⁻¹, un 22% menor que el promedio de los diferentes tratamientos bajo riego. Los valores correspondientes a los tratamientos bajo riego variaron entre 16,557 t.ha⁻¹ y 18,186 t.ha⁻¹.

Otro autor, Urrutia (2009), estudió en otro suelo de iguales características pero en condiciones edafoclimáticas diferentes de la provincia de Las Tunas, las necesidades hídricas del maíz y durante las etapas fenológicas I y II se consideraron como capa activa una profundidad de raíces de 0,30 m y 0,50 m en las restantes etapas. Equivalentemente aplicaron los siguientes indicadores del régimen de riego (tabla 10). La variante más irrigada fue la B con 13 riegos en todo el ciclo, mientras en la variante E se aplicó menos del 50 % de éste valor con cinco (5) riegos en total. La variante B se concibió con un intervalo equivalente al 125 % de la Evapotranspiración de referencia (ET_o) promedio histórica de la zona norte, mientras la E se concibió con una fracción del 50 % de la ET_o. En correspondencia con este indicador se comportó la norma total de riego aplicada (M_{tn}), la que como es lógico alcanzó el mayor valor en la variante B con 318 mm y el menor en la D con 120 mm.

Respecto al balance hídrico observado (Tabla 11) se pudo apreciar que los valores de aprovechamiento de la lluvia alcanzados fueron altos en todos los casos y oscilaron entre el 70 y el 91 % de forma general. En el caso de las variantes bajo riego su valor estuvo en relación inversa con la lámina de riego aplicada y varió entre un mínimo del 70,6 para la variante B hasta un 85,6 para la E.

De forma general los ingresos totales superaron los 300 mm incluso en el testigo que alcanzó los 303,8 mm y se observó como en las variantes B y C a pesar de la baja frecuencia de riego aplicada (7 y 10 días respectivamente) que conllevó a la obtención de una norma total de riego alta en ambos casos, se logra un aprovechamiento satisfactorio de las lluvias.

Respecto al intervalo de riego la mayoría de los autores consultados se refieren fundamentalmente al número de riegos necesarios a aplicar en el ciclo y de forma general plantean que de cinco a siete riegos durante todo el ciclo son suficientes (Zamora et al., 1997; Faz, 2004; Rivetti, 2004 y 2007), sin embargo en este trabajo se reportan 13 y 10 riegos para las variantes B y C que fueron las más irrigadas y sólo se aplicaron cinco y siete riegos en los tratamientos E y D respectivamente.

Deducen de la Figura 1, que el contenido de humedad volumétrica promedio (θ) durante el ciclo del cultivo estuvo muy cercano a la capacidad de campo en las variantes B y C, mientras en los tratamientos D y E la humedad alcanzó valores promedio cercanos a $0,4 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$. En el caso del testigo como es lógico las variaciones de humedad estuvieron condicionadas a la ocurrencia de lluvias y se alcanzaron altos valores de humedad durante los primeros 60 días de vida.

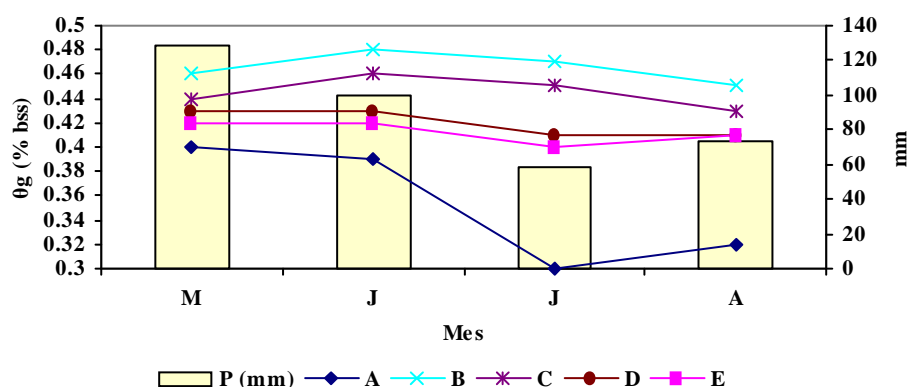


Figura 1. Variación de la humedad volumétrica durante el ciclo

Equivalentemente la humedad promedio expresada en porcentaje de suelo seco para cada tratamiento (Tabla 12) fue de 35,3; 46,5; 44,5; 42,0 y 41,3 para las variantes A, B, C, D y E respectivamente. Las tensiones de humedad medidas con el tensiómetro

para estas humedades variaron desde 0,99 bares en el testigo, que alcanzó el promedio más bajo, hasta 0,36 bares en la variante B con el mejor comportamiento. Se logró que en las variantes irrigadas se observaran tensiones promedio inferiores a los 0,6 bares. Esto indica la conveniencia de aplicar el riego suplementario para lograr disminuir la tensión de humedad en el suelo y con ello favorecer el transporte del agua desde el suelo hacia la planta al aumentar la conductividad hidráulica insaturada la cual se valoró en este estudio por medio del modelo de Van Genuchten y fue cuatro veces mayor su valor en las variantes B y C en comparación con el testigo.

En la literatura se plantea que ante variaciones de la humedad del suelo la tensión con que es retenida la misma no es el factor determinante, para lograr un balance hídrico adecuado, sino la conductividad hidráulica como una función de la humedad volumétrica, así como la densidad radical. La conductividad disminuye considerablemente con el incremento de la tensión de humedad en el suelo, lo que significa que al decrecer la humedad aumenta la resistencia a la circulación entre el suelo y la planta (Gardner, 1960; Hallaire, 1964 citados por Cid, 2002). Esto explica por qué a la planta le es más difícil extraer agua del suelo en condiciones de baja humedad del mismo.

Tabla 12. Valores promedio de humedad gravimétrica, tensión de humedad y conductividad hidráulica insaturada alcanzados en los tratamientos durante los primeros 80 días.

Tratamiento	Humedad gravimétrica promedio (% pss)	Tensión de humedad del suelo (bar)	Kns (cm/día)
A	35,3	0,99	1,23
B	46,5	0,36	4,67
C	44,5	0,46	4,50
D	42,0	0,53	3,23
E	41,3	0,56	3,00

En la literatura se plantea que el umbral de tensiones de humedad en los que el maíz desarrolla de forma adecuada sus funciones fisiológicas se halla entre los 0,33 y los 0,5 bares durante las etapas fenológicas I a la III mientras en la última etapa que

abarca a partir de los 75 días aproximadamente soporta tensiones cercanas a los 10 bares (Doorembos y Kassam, 1986; Olavarrieta, 1995). Como se observa estos valores promedios sólo se alcanzaron en las variantes B y C (0,36 y 0,46 bares).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las variantes experimentales bajo riego respecto al número de hojas activas (Figura 2). De forma general el testigo alcanzó un menor valor que los tratamientos bajo riego, aunque no se diferenció estadísticamente de la variante E ($p \leq 0,05$) en la prueba de Tukey.

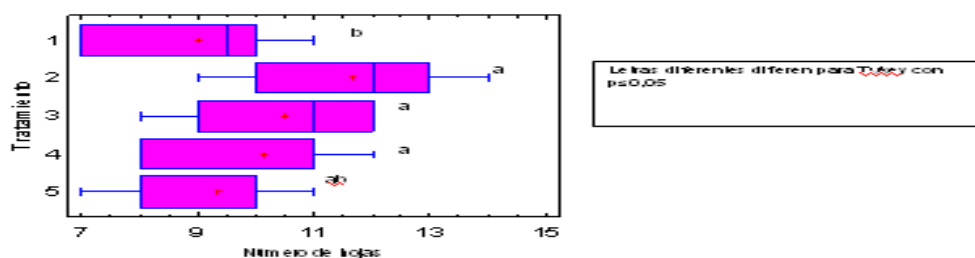


Figura 2. Variación en el número de hojas

Las variaciones realizadas en el régimen de riego, a partir del establecimiento de diferentes intervalos de riego para el cultivo tuvieron una manifestación notable sobre la altura de la planta (tabla 13) y el sólo hecho de aplicar el riego fue a su vez la causal del incremento en los valores en comparación con el testigo. Se observa como a medida que el intervalo de riego se alargó la tendencia que mostró la planta fue disminuir su crecimiento. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tratamientos con, excepto en la 4ta medición en que no se apreciaron éstas entre las variantes B y C y los mayores valores con diferencias notables respecto a los demás se presentaron en los tratamientos B y C. Debe destacarse además que a pesar de que estadísticamente se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) entre las variantes A y E, la diferencia numérica fue baja, ya que el intervalo de riego fue muy largo.

Las variaciones observadas tanto en el número de hojas activas como en lo que respecta al crecimiento del tallo tienen su explicación, ya que a medida que el intervalo de riego se alargó se aplicó una menor cantidad de riegos, y con ello disminuyó la norma total de riego aplicada. Esto tuvo como consecuencia además según fue analizado en la tabla 12 que la humedad promedio observada fuera baja en los tratamientos A, D y E y consecuentemente las tensiones de humedad del suelo se elevaran, lo cual a su vez es la causal de que la conductividad insaturada (Kns) tomara valores insatisfactorios.

Tabla 13. Influencia de la variación del régimen de riego sobre la altura del tallo.

Tratamiento	Medición					
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	5ta
A	48 e	94 e	165 e	269 d	301 e	305 e
B	113 a	135 a	223 a	312 a	368 a	375 a
C	95 b	116 b	203 b	310 a	334 b	344 b
D	80 c	107 c	199 c	297 b	323 c	329 c
E	70 d	104 d	182 d	283 c	306 d	316 d
Es	2,1345	0,9359	0,5487	0,8989	0,4852	0,9831
Cv (%)	2,63	0,84	0,28	0,31	0,15	0,29
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)						

De acuerdo a la opinión de Acevedo y Silva (2005) cuando las necesidades hídricas del cultivo quedan insatisfechas, la respuesta de la planta a nivel celular se manifiesta en una disminución en la extensión celular y expansión foliar, por causa de la restricción hídrica a que se somete el suelo, lo cual reduce la velocidad de crecimiento.

Lo anterior explica la importancia del riego suplementario adecuadamente aplicado en cantidad y calidad, ya que según Andrade, (1996) el crecimiento del maíz, en una región semiárida, depende de las precipitaciones y cuando éstas tienen una mala distribución, depende de los riegos que se aportan. Entre siembra y cosecha se desarrollan distintas fases que concretan el crecimiento y el desarrollo de la planta adulta.

Se observaron retrasos en las etapas fenológicas (Tabla 14) en los tratamientos A (sin riego) y E (riego cada 21 días) en el período de llenado de granos, (R1 a R4), lo cual coincide con Rivetti, (2004) y Puiatti et al, (2008) donde el tratamiento sin riego mostró demora en las fases reproductivas y alcanzó la madurez fisiológica en la misma cantidad de días. Resultados similares habían obtenido Uhart y Andrade (1995), los que observaron también demoras de alrededor de 9 días en los estadios vegetativos y 11 días en polinización en cultivos de maíz con riego.

En los demás tratamientos el retraso en las fases del cultivo no es considerable debido a las aplicaciones del riego suplementario aun cuando se realizara con diferentes intervalos de riego. En el testigo si bien se

observaron ciertos retrasos, el ciclo se cumple en igual cantidad de días debido a que este tratamiento, recibió buena provisión de agua por las lluvias en los primeros 70 días.

Tabla 14: Etapas fenológicas del cultivo

SEMANAS	FECHA	Estadío por tratamiento				
1	01/04/2008	siembra	siembra	siembra	siembra	siembra
2	08/04/2008	VE	VE	VE	VE	VE
3	15/04/2008	V2	V2	V2	V2	V2
4	22/04/2008	V3	V3	V3	V3	V3
	25/04/2008	V4	V4	V4	V4	V4
	28/04	V5	V6	V6	V5	V5
5	29/04/2008	V5	V7	V7	V5	V5
6	06/05/2008	V6	V8	V8	V6	V6
7	13/05/2008	V7	V10	V10	V7	V7
8	20/05/2008	V8	V11	V11	V8	V8
9	27/05/2008	V10	V13	V13	V10	V10
10	03/06/2008	V11	V15	V15	V11	V11
11	10/06/2008	V13	VT	VT	V13	V13
	12/06/2008	V15	R1	R1	V15	V15
12	17/06/2008	VT	R1	R1	VT	VT
13	24/06/2008	R1	R1	R1	R1	R1
14	01/07/2008	R1	R2	R2	R1	R1
15	08/07/2008	R1	R2	R2	R1	R1
16	15/07/2008	R2	R3	R3	R2	R2
17	22/07/2008	R2	R3	R3	R2	R2
18	29/07/2008	R3	R4	R4	R3	R3
19	29/07/2008	R3	R4	R4	R3	R3
20	05/08/2008	R4	-	-	R4	R4
21	12/08/2008	R4	-	-	R4	R4

Un efecto beneficioso tuvo la aplicación del riego sobre los componentes del rendimiento en el cultivo del maíz (Tabla 15), ya que en todos los casos los resultados observados el testigo sin riego estuvieron por debajo de estos. De forma general los mejores resultados se alcanzaron en la variante B y los peores en el testigo. Se observa una relación entre el nivel de humedad alcanzado en cada variante con respecto a los valores, ya que estos disminuyeron en tanto lo hacía la humedad. Respecto a la longitud de la mazorca los tratamientos bajo riego alcanzaron valores que variaron entre 19 y 25 cm, muy superiores a los 9 cm promedio medidos sin riego. Sin embargo en lo referente al diámetro de la mazorca la variabilidad fue menor y el testigo no mostró diferencias estadísticas para Tukey ($p \leq 0,05$) con los tratamientos D y E y estos a su vez no se diferenciaron estadísticamente ($p \leq 0,05$) de la variante C, la cual a su vez se comportó estadísticamente similar a la A. el mayor promedio se midió en la variante A que fue la que mayores beneficios recibió por el riego.

Tabla 15. Efecto de la variación del régimen de riego sobre componentes del rendimiento del maíz.

Tratamiento	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Número de hileras por mazorca (U)	Número de granos por hilera (U)	Número de mazorcas por planta (U)	Número de granos m^{-2} (U)	Peso de 1000 granos (g)
A	9 d	2,3 c	8 d	15 e	0,4 b	1446 e	19,8 e
B	25 a	5,0 a	16 a	48 a	1,1 a	9222 a	439,7 a
C	23 ab	3,9 ab	14 b	41 b	1,0 a	6912 b	283,3 b
D	21 bc	3,2 bc	13 b	36 c	1,0 a	5622 c	207,5 c
E	19 c	2,9 bc	11 c	31 d	1,0 a	4098 d	126,7 d
Es	1,033	0,116	0,516	0,639	0,051	316,73	19,5
Cv (%)	2,66	3,66	4,16	1,87	5,73	4,12	3,53
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)							

El número de hileras por mazorca, así como el número de granos por hilera si fue influenciado de forma significativa tanto por la aplicación del riego, ya que los

resultados son notablemente superiores en las variantes irrigadas en comparación con los del testigo, como en lo referente a las variaciones del régimen de riego, pues se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tratamientos. El número de hileras osciló entre 11 y 16 en las plantas irrigadas y se midieron promedios de 9 hileras en el testigo; de igual forma el número de granos por hilera varió entre 31 y 48 para las primeras y sólo alcanzó promedios de 15 en el segundo caso.

El número de mazorcas por planta sólo mostró diferencias estadísticamente significativas en lo referente a la aplicación del riego o no, pues en todas las variantes irrigadas independientemente del régimen de riego aplicado se alcanzaron similares resultados, no así en el testigo que estuvo muy por debajo con promedios muy por debajo de los demás que incluso no alcanzaron la unidad. Se obtuvo generalmente una mazorca por planta, aunque en la variante B fue ligeramente superior (1,1 mazorcas por planta) el promedio.

El análisis estadístico correspondiente al número de granos. m^{-2} y peso de 1000 granos mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos y una vez más mostró los beneficios de la aplicación del riego en cualquiera de las variantes de régimen de riego adoptada. La aplicación de diferentes intervalos de riego que conllevó a la presencia de valores de humedad diferenciados marcó diferencias significativas en estos indicadores y los resultados decrecieron a medida que la humedad del suelo medida fue menor. Los promedios obtenidos en plantas irrigadas respecto al peso de mil granos oscilaron desde 126,7 hasta 439,7 g y en el testigo sólo alcanzó 19,8 g kg, mientras se obtuvieron entre 4098 y 9222 granos. m^{-2} en el primer caso y 1446 en el testigo.

A su vez, Otegui et al., (1995) encontraron que disminuía el número de granos. m^{-2} cuando disminuía el agua disponible para evapotranspiración, lo cual coincide con los resultados de este trabajo, ya que en el caso del secano, sólo dispuso del agua debida a las precipitaciones caídas, y en la variante D y E se aplicaron intervalos de riego de 14 y 21 días respectivamente lo que hace insuficientes los aportes hídricos según se apreció en la tabla 7 al analizar el balance hídrico

En cuanto al peso de 1000 granos, los resultados obtenidos concuerdan con la experiencia de Andrade et al., (1996) y Pandey et al., (2000) quienes también encontraron disminución en el peso del grano cuando provocaban déficit de agua en el cultivo, durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases del crecimiento vegetativo. De igual forma, Cakir, (2004) indica que los componentes del rendimiento

(número de granos por m² y peso de 1000 granos) son significativamente afectados por déficit de agua en el perfil del suelo, lo cual corrobora los resultados obtenidos en el presente trabajo.

De forma general bajo riego los rendimientos oscilaron entre 1,267 y 4,397 t.ha⁻¹, resultados estos en el caso de las variantes B, C y D que superan los promedios históricos que se obtienen en Las Tunas y en el país de forma general, los cuales se hallan por debajo de 1 t.ha⁻¹. En Cuba tradicionalmente el riego del maíz se ha realizado con aplicaciones de agua que consideran el límite productivo como el nivel inferior de humedad a mantener y bajo este principio se aplica el riego con intervalos que oscilan entre 12 y 20 días que incluyen la suspensión de riegos durante la fase de establecimiento y su aplicación en el momento de inicio de la fase reproductivas, específicamente en el momento de la floración por ser esta una fase crítica.

4.1.3 Cultivo del Fríjol

Se estudio el efecto de las variaciones del régimen de riego en un suelo Pardo Sialítico Mullido y según recomendaciones de INFOAGRO, (2011) la profundidad máxima de las raíces en las Fases I y II del ciclo (0-20 días y 20-50 días después de la siembra respectivamente) es de 0,20 m y en las fases III y IV (50-80 días y 80-120 días después de la siembra respectivamente) es de 0,40 m (tabla 16).

Tabla 16. Indicadores del régimen de riego aplicado por tratamientos en el cultivo del frijol.

Indicador	Fases	Tratamientos								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ln: Lámina neta (mm)	I y II	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	
	III y IV	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	
Fr: Frecuencia de riego (Fr)	I y II	5	7	10	14	15	20	21	28	0
NR: Número de riegos (u)	I y II	4	4	3	3	2	2	1	1	0
Mtn: (m ³ .ha ⁻¹)	-	1000	1000	750	750	500	500	250	250	0

Autores como Socorro y Martín (1998), definen 6 fases de desarrollo de este cultivo que pueden comenzar en diferentes momentos y no solo en campañas diferentes sino también en el mismo campo. En años diferentes, las diferencias en los plazos de comienzo de las fases, así como en la duración de estas alcanzan valores considerables (hasta 10 o 15 días). Estas diferencias están determinadas no solo por las variedades y cultivares utilizados, sino también por la temperatura, humedad del suelo y del aire.

Tabla 17. Efecto de la variación del régimen de riego sobre la altura de las plantas en el cultivo del fríjol.

Tratamientos	Mediciones biológicas: Altura de las plantas				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	4,80 c	8,00 b	8,60 c	11,60 b	16,80 b
B	5,60 a	8,70 a	9,60 a	12,40 a	17,80 a
C	4,40 d	6,80 e	8,00 e	10,60 d	15,80 e
D	5,20 b	7,80 c	9,00 b	11,60 b	16,80 c
E	4,00 e	6,20g	7,40 g	9,80 f	15,00 f
F	3,20g	5,60h	6,60 h	9,20 g	14,00 h
G	4,40 d	7,20 d	8,40 d	10,80 c	16,00 d
H	3,60 f	6,60 f	7,60 f	10,20 e	14,80 g
I	2,40 h	4,60 i	5,80 i	8,40 h	13,00 i
Cv (%)	13,6	11,5	14,9	8,6	10,9
Es	0,3300	0,7450	1,5200	0,6300	0,2850
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)					

Con las variaciones realizadas en el régimen de riego se observa como a medida que el intervalo de riego se alargó la tendencia que mostró la planta de este cultivo fue disminuir su crecimiento y según se deriva del análisis del indicador altura de la planta (Tabla 17) alcanzamos diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre el tratamiento B con aplicación de riego a los siete días y el resto de los tratamientos.

Cuando analizamos el parámetro número de hojas (Tabla 18), los mejores valores se obtienen en el tratamiento B con aplicación de riego a los siete días que supera estadísticamente ($p \leq 0,05$) a todas las variantes. El tratamiento I sin aplicación de riego siempre obtuvo los valores más bajos, teniendo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) con el resto de los tratamientos.

Según Rojas Bolaños et al., (1990) el déficit hídrico en el suelo provoca en las plantas una reducción en la absorción de agua, la cual produce respuestas diferenciales sobre los cultivos.

Tabla 18. Efecto de la variación del régimen de riego sobre el número de hojas en el cultivo del fríjol.

Tratamientos	Mediciones biológicas: número de hojas				
	8 días	16 días	24 días	32 días	40 días
A	2,00 b	3,60 d	7,80 c	11,00 b	17,20 b
B	2,20 a	4,40 a	8,80 a	12,00 a	18,20 a
C	2,00 b	3,20 e	7,20 e	10,00 d	16,20 d
D	2,00 b	4,20 b	8,20 b	11,00 b	17,20 b
E	2,00 b	3,00 f	6,60 g	9,20 e	15,40 e
F	2,00 b	3,00 f	5,80 h	8,60 g	14,60 f
G	2,00 b	4,00 c	7,60 d	10,20 c	16,40 c
H	2,00 b	3,00 f	6,80 f	9,20 e	15,40 e
I	1,40 c	2,40 g	4,80 i	7,60 f	13,80 g
Cv (%)	14,6	2,2	9,38	9,9	4,67
Es	0,0800	0,1300	0,4200	0,9200	0,5500
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tuk ($p < 0,05$)					

Duarte (1990), planteó que el rendimiento del frijol se afecta notablemente desde las 24 h de inundación, con 96 h se produjo una reducción del 94 %. La inundación durante la floración afectó el desarrollo normal de la planta, el rendimiento, el número de vainas por plantas y el peso de 100 granos

Al analizar la influencia de la aplicación del riego sobre los componentes del rendimiento en el cultivo del frijol (Tabla 19), observamos que en todos los parámetros, los resultados superan al tratamiento sin aplicación de riego estuvieron por debajo de estos.

En el número de racimos por plantas, la variante B con aplicación de riego a los siete días supera estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) a las demás variantes al presentar los mejores valores y el tratamiento sin aplicación de riego estuvo por debajo de todos los demás tratamientos al diferir estadísticamente con todos.

Tabla 19. Efecto de la variación del régimen de riego sobre los parámetros del rendimiento en el cultivo del frijol.

Tratamientos	Número de racimos por plantas (U)	Numero de vainas por racimos (U)	Numero de vainas por plantas (U)	Numero de semillas por vainas (U)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t. ha ⁻¹)
A	2,56 e	1,59 a	4,57 c	4,86 c	221,6 b	0,86 b
B	3,35 a	1,55 b	5,29 a	5,60 a	228,2 a	1,08 a
C	2,36 f	1,48 d	4,24 f	4,73 d	214,4 d	0,74 d
D	2,98 b	1,50 c	4,80 b	5,00 b	216,0 c	0,82 c
E	2,10 e	1,37 f	3,95 g	4,23 f	198,0 f	0,59 f
F	2,09 h	1,25 g	3,70 h	3,68 h	191,0 h	0,46 h
G	2,77 c	1,39 e	4,34 d	4,44 e	205,8 e	0,65 e
H	2,76 d	1,37 f	4,25 e	3,99 g	194,8 g	0,56 g
I	1,98 i	1,15 h	3,33 i	3,46 i	185,6 i	0,38 i
Cv (%)	9,61	11,3	2,3	6,08	1.2	13,1
Es	0,0612	0,0272	0,1465	0,0732	0,2743	0,0291
Letras iguales no difieren. Letras diferentes difieren para Tukey ($p < 0,05$)						

En el número de vainas por plantas, los mejores valores se obtienen en el tratamiento B de la aplicación de riego a los siete días y entre los demás tratamientos irrigados no se encontraron diferencias estadísticamente significativas; los peores valores se obtienen en el tratamiento sin aplicación de riego.

En el parámetro número de vainas por racimos, entre los tratamientos se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque los mejores valores se encontraron en los tratamientos A con la aplicación de riego a los cinco días y los peores valores se obtienen en el tratamiento sin aplicación de riego. En el parámetro número de semillas por vainas, los mejores valores se obtienen en el tratamiento B de la aplicación de riego a los siete días, que supera estadísticamente a los demás tratamientos y los peores valores se obtienen en el tratamiento sin aplicación de riego. Al analizar el parámetro peso de 1000 granos, observamos que se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tratamientos, los mejores valores se encontraron en los tratamientos de Aplicación de riego a los siete días y en el tratamiento sin aplicación de riego se obtienen los más bajos resultados. La falta de agua en las raíces, desarrolla tensiones hídricas que alteran las funciones normales, provocando un desequilibrio fisiológico. El rendimiento de los cultivos responde de manera muy compleja (Álvarez et al., (1990). Las variedades tardías pueden volverse inútiles porque no hay suficiente agua para alcanzar su potencial de crecimiento (Write, 1985).

Un buen rendimiento se relaciona con la utilización eficiente del agua (Duarte, 1990). Yontes et al., (1991) y Gallardo y Paredes (1991), plantean una cantidad de agua entre 30 y 40 cm. Incluyendo riego y precipitaciones, produce el máximo rendimiento de frijol. Los estudios realizados por Samadi y Sepasckhah (1991), sugieren el riego suplementario por surcos común en el estado de llenado de las vainas para obtener el mayor rendimiento.

La aplicación de diferentes intervalos de riego que conllevó a la presencia de valores de humedad diferenciados en las diferentes fases del cultivo del frijol marcó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en el rendimiento ($t. ha^{-1}$), los resultados decrecieron a medida que la humedad del suelo por la variación del régimen de riego fue menor, así, los mejores valores se obtienen en el tratamiento B de la aplicación del riego a los siete días que presenta diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos, los valores más bajos se obtiene en el tratamiento sin aplicación de riego, que difiere estadísticamente ($p \leq 0,05$) con los demás tratamientos.

5. Bibliografía

- Acevedo, E. y P. Silva. (2005). Rusticidad de seis híbridos de maíz de grano. U. de Chile-Semameris. 20p. Disponible en <http://www.sap.uchile.cl/descargas/maiz/>
- Acosta G., J. A et al., (1991). Mecanismos fenológicos de escape en frijol en Publicación Especial 4: 52 – 56. En: CIAT. Resúmenes sobre Frijol. 16(2): 14.
- Acosta G., J. A.; M. W. Adams. (1992). Rasgos de la planta y estabilidad de rendimiento de líneas de frijol en condiciones de estrés por sequía. En: CIAT. Resúmenes sobre frijol. 27 (1): 12.
- Allen, R, et al., (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 300p. (Irrigation and Drainage, 56).
- Álvarez G., Feijó, et al., (1990). La humedad aprovechable residual d el suelo y el rendimiento del frijol. Agro ciencia. 1(4): 145 -160.
- Andrade F. y V. Sadras. (2000). Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp 173-206.
- Andrade, F. et al., (1996). Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial Médica Panamericana. Crecimiento del cultivo, pág.47-76.Determinación del rendimiento, pág.81-96. Relaciones fuente/destino, pág. 101-117.Requerimientos hídricos, pág. 121-142.
- Anónimo. (2008). Consumo de agua de un cultivo de maíz con diferente nivel nutricional de nitrógeno y azufre .EEA Oliveros, Santa Fe. Disponible en <http://kikka-roja.blogspot.com/2009/02/etanol-de-maiztransgenico-peligro.html>. [Consulta enero 2009].
- Anwar, M. R., Mckenzie, B.A. & Hill, G. D. (2003). Phenology and growth response to irrigation and sowing date of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a cooltemperate subhumid climate. Journal of Agricultural Science, Cambridge 141, 273–284.
- Barbieri P et al., (2005). Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la reducción de la distancia entre hileras y al agregado de nitrógeno. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario, 16-18 de noviembre de 2005.

- Barbieri P, et al., (2006). Métodos de colocación de fósforo en el cultivo de maíz bajo siembra directa. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de la Región Andina. Salta, 19-22 de Septiembre de 2006, Actas en CD.
- Barbieri, P et al., (2001). “Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.) bajo siembra directa en función de la distancia entre hileras y la disponibilidad de nitrógeno”. Trabajo publicado en: VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, 7-9 noviembre.
- Benachio, S. (1982). Niveles de melaza em silo experimental de milho crillo (*Sorghum vulgare*). Agronomía Tropical, Maracay, v. 14, n. 2, p.291-297.
- Bergamaschi, H et al., (1992). Deficiencias hídricas en Frijol Común. En: CIAT Resúmenes sobre frijol. 12 (1): 13.
- Bravo, L y C. Chan. (1987). Relaciones agua- suelo-planta-atmósfera del maíz de riego en zonas semiáridas. Terra 5: 132-139. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/573/57316406.pdf>. Consulta enero 2009.
- Burin, M. E et al., (1991). Floración y patrón de floración en 2 líneas de frijol en relación con la temperatura y la precipitación. Agronomía Sulriograndense. 24(2): 165 – 182. 1988. En: CIAT. Resúmenes sobre Frijol. 16(2) p.10.
- Çakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89(1): 1-16.
- Capozzi, I et al., (2006). Transformaciones de fósforo en un suelo molisol con alta disponibilidad de fósforo. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de la Región Andina. Salta, 19-22 de Setiembre de 2006, Actas en CD.
- Cargill, C. (1996). Manejo de suelos y agua en el cultivo de maíz. Dialogo XLIII Maíz: Sistema de Producción. Pág 167-176
- Caviglia, A. y R. Paparotti (1999). Maíz en SD. Jornadas de intercambio técnico de maíz. Agua, pág. 19-33.
- Cid, G. (2002). Relaciones agua suelo planta. Monografía. VI Escuela Latinoamericana de Ciencias del Suelo. La Habana.
- Cid, G. (1992). Efecto de la contracción-dilatación sobre las transferencias de agua y aire en suelos con arcillas dilatables del Valle del Cauto. Cuba. Tesis en Opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ciudad de la Habana 116 pp.

- Claassen, M. y O. Shaw. (1970). Water Deficit Effects on Corn. I. Grain Components. Published online 1 September 1970 en Rev. Agron J 62:652-655.
- Contreras, M; E. Zini y H. Currie. (2004). Los rendimientos de cultivo de maíz en dos sistemas de riego y algunos indicadores de productividad. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 2004. Resumen 046.
- Currie. H; M. Contreras y E. Zini. (2004). Algunos indicadores de productividad en el cultivo de maíz bajo riego. Disponible en <http://www.agr.unne.edu.ar>. [consulta diciembre 2008]
- D'Andria et al., (1997). Respuesta del maíz a diferentes niveles de humedad en el suelo. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/4/art309-316.pdf>. [consulta enero 2009].
- Dane, J (1980). Comparison of field and laboratory determined hydraulic conductivity values. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:228-231.
- Dardanelli, J et al., (2002). Use of a crop model to evaluate soil impedance and root clumping effects on soil water extraction in three Argentine soils. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 46:1265-1275.
- De Santa Olalla F y J. De Juan (2005). Agua y Agronomía. Ed. Muidiprensa. 456 pp.
- De Santa Olalla F. y J. De Juan. (1993). Agronomía del riego. Ed. Mundiprensa. 567 pp.
- Delgado et al., (1996). Evaluación del comportamiento del garbanzo (c. arietinum) variedad nacional I-29 en condiciones de suelo arenoso. Estación INIFAT de Pinar del Río . Cuba.
- Doorembos , J. y Kassam A. (1986). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO –Riego y Drenaje N°33. 211 pags. Roma
- Doorembos, J. y O. Pruitt. (1977). Crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 24. Rome. Italy. 124 p.
- Doorenbos, J.; A.H Kassam. (1979). yield Response to Water, 193 pp., Irrigation And Drainage Paper N°33. Fao: Rome,
- Duarte, C. (1990). Resistencia del Fríjol a las condiciones de sobre - humedecimiento en un suelo Hidromórfico Gley Amarillo. Ciencia y Técnica de la Agricultura. Riego y Drenaje. 13 (2) 19 –25.

- Faz, C. (2004). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. Disponible en http://www.tecnicapecuaria.org.mx/publicaciones/publicacion04.php?IdP_ubicación=199. [Consulta enero 2009].
- Feddes, R., P. Kowalik y H. Zaradny. (1978). Simulation of field water use and crop yield. PUDOC, Wageningen, Simulation Monographs, 189 p.p.
- Feddes, R., P. Kowalik y H. Zaradny. (1984). Simulation of field water use and crop yield. PUDOC, Wageningen, Simulation Monographs, 189 p.p.
- FIRA: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2007). Impulsará FIRA la producción de maíz. Disponible en <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/256646.impulsara-fira-laproduccion-de-maiz.html>. [consulta enero 2009]
- Foncelli, A. (2006). Estratégias de manejo para la alta productividad de milho no Brasil. Estratégias de manejo para alta produtividade do milho. N° 113, Março. [Documento en línea], disponible en WWW.potafos.org. [Consulta: noviembre 2006].
- Fortis et al., (2006). Diseño del riego subsuperficial en el maíz. Disponible en <http://redalyc.publicacion04.php?IdPublicacion=199>. [Consulta enero 2009].
- Gallardo, A., L.; C. M. Paredes (1991). Efecto de la frecuencia de riego sobre frijol. Agricultura Técnica. 50(4) 364 –378.
- García Medina Susana, (2002). Manejo del cultivo del garbanzo. INTA. EEA Salta.
- García, E. y O. Chaveco. (1999). Instructivo técnico del garbanzo. Estación Territorial de Investigaciones Agropecuarias de Holguín. MINAGRI. 2p.
- García, F. (2005). Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Informações Agrônômicas. POTAFOS. Julio. Piracicaba-SP, Brasil.
- García, P. y S. Cabrera. (2002). El cultivo de maíz en Venezuela. En: IX Curso de sobre producción de maíz. Asociación de Productores Rurales del Estado Portuguesa – Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Portuguesa. Venezuela.
- Gardner, E. A. (1970). Understanding Soils and Soil Data. Chapter 10, Soil Water. Soil Conservation Research Branch, Queensland. pp 153-184.

- GIRALT, T. E. (2000): Respuesta del cultivo del garbanzo a diferentes niveles de humedad en el suelo, 12pp., Informe técnico, IIRD, La Habana.
- González, Felícita; J. Herrera y T. López. (2009). Factor de respuesta al agua de cultivos de interés agrícola en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 18, No. 3.
- Grant, F. (1989). Simulation of Maize Phenology. Published online 1 May 1989 en Agron J 81:451-457 (1989).
- Guerrero, A. (1992). Cultivos Herbáceos Extensivos, 5^{ta} Edición, Ed.
- Gutiérrez, R. (1990). Guía para cultivar frijol en el norte de Somora. Folleto Técnico 32. México.
- Hack-ten Broeke, M.y J. Hegman (1996).Use of soil physical characteristics from laboratory measurements or estándar series for modelling unsaturated water flow. Agric. Water Management 29: 201-213,
- Hartmann, R. (2002). Soil Physics. Universiteit Geint. Memorias de la VI Escuela Latinoamericana de Física del Suelo (en formato electrónico), 230 p.p.
- Henríquez, J. y H. Cabalceta. (1999). Prácticas de laboratorio de Riego y Drenaje. Universidad de Costa Rica.
- Herrera, J et al., (2001). Clasificación hidrológica de los suelos cubanos. XII Congreso Latinoamericano del Suelo. Plaza América, Varadero.
- Hillel, D. (1980). Uptake of soil moisture by plant. In "Applications of Soil Physics", Academic Press, 385 p.
- Hillel, D. (1990). Role of irrigation in agricultural systems. In "Irrigation of Agricultural Crop". Edited by B. A. Stewart and D. R Nielsen. Agronomy No. 30,6-29.
- Hillel, D. (1994). Fundamentals of soil phisics (5ta Ed) San Diego: Academics Press Inc. Jury,
- Hoogland, J.; C. Belmans, y R. Feddes. (1981). Root water uptake model depending on soil water pressure head and maximum extraction rate. Acta Hortic. 119, 123 - 136.
- Hsiao, C et al., (1976). Water stress growth and osmotic adjustment. II. Phisiol. Trans. R. Soc. London. 273: 479-500.
- InfoStat (2002). InfoStat versión 1.1. Grupo InfoStat FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina

- INIFAP. (2011). Garbanzo Blanco: Nueva opción de producción bajo riego. En línea. Disponible en http://www.inifap.gob.mx/investigacion/reporte_anual.html. (Consulta Mayo 2011).
- INIFAT. (1999). Propuesta de manejo para el cultivo del garbanzo en las condiciones de Sancti Spíritus. Plegable. MINAGRI.
- INTA. (2007). El cultivo del garbanzo. En línea. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/salta/info/documentos/legumbres/Garbanzo/El%20cultivo%20de%20garbanzo.pdf>. (Consulta Mayo 2011).
- Jama, J. y L. Ottman. (1993). An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research*. 67: 207- 214.
- Jurgens et al., (1978). Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*. 12:647-650.
- Khade, V. N et al., (1992). Respuestas del Fríjol al riego en etapas críticas del crecimiento. En *CIAT: Resúmenes sobre frijol*. Vol. 12 (1).p. 15.
- Kuruvadi, S.; Aguilera, D. M. (1992). Patrones del sistema radical en frijol común. En: *CIAT. Resúmenes sobre frijol*. 17 (1): 11.
- Kuruvadi, S.; Aguilera, D. M. (1994). Patrones del sistema radical en frijol común (*P. vulgaris*). *Turrialba* Vol. 40(4): 491-498.
- Kutílek, M. y D. Nielsen. (1994). *Soil Hydrology*. Cremlingen-Destedt: Catena Verlag, 370 pp
- Lavastida, R et al., (1997). Guía práctica para el cultivo del maíz en México. Folleto impresión ligera. 45 pp.
- López, María Teresa. (2001). Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los Balances Hídricos. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana.
- Lorens, G; J. Bennett y L. Loggale. (1987). Differences in drought resistance between two corn hybrids: II. Component analysis and growth rates. *Agronomy Journal*, Madison, 79(5):808-813.
- Mahdian, M.H. y J. Gallichand.(1996). Modeling soil water content and pressure head with SWACROP in potato fields. *Canadian Agricultural engineering* 38(1):1-11.

- Martellotto, E; H. Salas y E. Lovera E. (2002). El monocultivo de soja y la sustentabilidad de la agricultura. En AAPRESID (ed.). Rotación de cultivos en siembra directa, Publicaciones Técnicas por Cultivo, AAPRESID, Rosario, Santa Fe. 17-22.
- Mateo-Box, J. M. (1961). Leguminosa de granos. 1ra Edición. Salvat edot press. S.A. Barcelona. Madrid. 550p.
- McPherson, H y J. Boyer. (1977). Regulation of grata yield by photosynthesis in maize subjected to a water deficiency. Agronomy Journal, Madison, 69(4):714-718.
- Miller, A. (1993). Manejo de Agua y Producción Agrícola. Santiago, Chile. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 556 p.
- Montemayor T., J.A., J. Olague R., M. Fortis H., R. Bravo S., J. A. Leos R., E. Salazar S., J. Castruita L., J. C. Rodríguez R., y J. A. Chavaría G. (2007). Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. Terra Latinoamericana 25 (2): 163-168.
- Morales, A et al., (2004). El cultivo del boniato (Ipomoea batatas), clones, tecnologías y su impacto en la agricultura cubana. MINAG-INIVIT. XV Forum, Villa Clara.
- Moran, F.; Barrales, J. (1990). Colectas de fríjol, su comportamiento y floración en temporal. Chapingo vol. 16(71-72): 68 -72.
- Nielsen, D., K. Reichardt y P. Wierenga. (1983). Characterization of field-measured soil-water properties. IN Isotope and Radiation techniques in soil physics and irrigation studies. IAEA: 55-78.
- Nielsen. David C. (2001). Production Functions for Chickpea, Field Pea, and Lentil in the Central Great Plains. AGRONOMY JOURNAL, VOL. 93, MAY–JUNE
- Olavarrieta, S. (1993). Las relaciones hídricas en las regiones semiáridas. Folleto Impresión Ligera. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. 16 pp.
- Olavarrieta, S. (1995). Determinación del momento de riego por el método edafológico. Folleto impresión ligera. Universidad Central Lisandro Alvarado. Venezuela, 12 pp.

- Ortegui et al., (1995). Growth, water use, and kernel absorption of maize subjected to drought at silking. *Field Crop Research*. 40:87-94.
- Ortegui, M. (1992). Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce. Buenos Aires. Argentina. 93 p.
- Ortegui, T. (2006). Desarrollo, crecimiento y generación de rendimiento en el cultivo de maíz, CREA, Maíz pág.4-17.
- Osuna, E et al., (2006). Estudio el efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *AGROCIENCIA*, enero – febrero, año/vol. 40, número 001. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Mexico. Pag 27-38. [Documento en línea], disponible en WWW.redaly.org. [Consulta: noviembre 2006].
- Pachepsky, Ya. A., Zbenschuk, N. G. (1984). Mathematical Models Of Water Movement In Heavy Clay Soils. *Proceedings Of The Isss Symposium On Water And Solute Movement In Heavy Clay Soils*. Iiri No. 37.
- Pacucci, C. Troccoli, and B. Leoni. (2006). "Supplementary Irrigation on Yield of Chickpea Genotypes in a Mediterranean Climate". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript LW 04 005. Vol. VIII. May,.
- Panda, R; S. Behera, S. y P. Kashyap (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*. 66: 181-203.
- Pandey, L et al., (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management*. 46:15-27.
- Pedrol, H; J. Castellarín y F Salvagiotti. (2008). El maíz en el centro sur de santa Fe. Disponible en http://www.niderasemillas.com.ar/NideraSemillas/upload/prensa_68.pdf. Consulta enero 2009.
- Pereira, L et al., (2003). Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em lavras, mg. *Ciênc. Agrotec., Lavras*. V.27, n.1, p.17-25, jan./fev.

- Pereira, L.S., Perrier, A., Allen, R.G. and Alves, I. (1996). Evapotranspiration: Review of concepts and future trends. In: Camp, C.R., Sadler, E.J., Yoder, R.E. (eds) *Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, ASAE: pp. 109-115.
- Puiatti J et al., (1985) Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al riego y a la fertilización en la zona de Río Cuarto. XII Congreso Nacional del Agua. Tomo II (b): 15-32. Mendoza. Argentina.
- Puiatti, J et al., (2008). Riego complementario en maíz (*zea mays* L.) en la región de Río Cuarto empleando el pronóstico climático extendido de 72 horas. Facultad de Agronomía – Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Rahman, S.M., M. Shamsul Alam, and M. Ahmed. (1983). Water relations and yield of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars influenced by different levels of irrigation. *Thai J. Agric. Sci.* 16:253–265.
- Rajin Anwar, B.A. McKenzie and G. D. Hill. (2003). Water-use efficiency and the effect of water deficits on crop growth and yield of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a cool-temperate subhumid climate. *Journal of Agricultural Science* (2003), 141, 285–301.
- Ramos, C. (1992). Relaciones Agua-Suelo. Apuntes VI Curso Internacional de Riego Localizado. Centro de Investigación y Tecnología Agraria (Tenerife). Consej. Agricultura y Alimentación del Gobierno de Canarias.
- Rawls, W. J., D. L. Brakensiek and K. E. Saxton. (1982). Estimation of soil water properties. *Trans. Amer. Soc. of Agric. Engin.* 25(5):1316 1320, 1328.
- REGAMATIC. (2009). Guías de riego. Disponible en <http://www.regamatic.com>. [consulta mayo 2009].
- Reidhardt K. (1996). Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. Dept Física e Meteorologia. Escola Sup. Agricultura "Luiz de Queiroz". Univ São Paulo. Brasil.
- Reta, S; M. Gaytan y A. Carrillo. (2000). Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mex*; 23:37-48.
- Richards, L. (1960). Advances in soil physics. *Trans. Intern. Congr. Soil Sci.* Madison, 7th I, 67-69,
- Rivera, R et al., (2004). Manual técnico del maíz. Agua y riego. Disponible en <http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricol>

as/semillashibridas/cargill/manualmaiz/manualmaizcargill45.htm.

[Consulta

diciembre 2008].

- Rivetti, Ana Rosa et al., (2001). Riego complementario del maíz en la zona semiárida argentina en el marco de una agricultura sustentable. Seminario Nacional. «Manejo sustentable del recurso hídrico en zonas áridas». Mendoza. Argentina. p. 107.
- Rivetti, Ana Rosa. (2004). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto – Córdoba – Argentina. Tesis: Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 92 pags.
- Rivetti, Ana Rosa. (2006). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. Revista de la Facultad Ciencias Agrarias. 38(2): 25-36.
- Rivetti, Ana Rosa. (2007). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. II. Producción de materia seca. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. N°1. Año 2007. 29-39.
- Rojas Bolaños, J. R et al., (1990). Validación de un modelo de predicción para rendimiento de grano de frijol. Agrociencia. México. 1 (4): 8 -24.
- Rosas, J. C et al., (1999). Metodologías participativas para el mejoramiento in situ del frijol común. En: Simposio Internacional y Talleres sobre Fitomejoramiento participativo en América Latina y el Caribe. Intercambio experiencia (1999 Agosto 31 - Sep.: Quito).
- Ruíz, María Elena; A. Utset y H. Medina. (2002). Algunas consideraciones sobre las curvas tensión humedad. Conferencia impartida en el VI Escuela Latinoamericana de Física del Suelo (En formato electrónico), La Habana.
- Ruíz, María y A. Utset. (1992). Curva tensión-humedad para algunos agrupamientos de suelos cubanos. Cienc. Tec. Agrop. 3(1):11-14.
- Ruíz, María, A. Utset y A. Lau. (1991). Tres modelos para la curva tensión-humedad en algunos tipos de suelos. Revista Cubana de Física XII(1):25-30.
- Sáenz, R; H. Echeverría y G Studdert. (2008). Diagnostico de las necesidades de nitrógeno del cultivo de maíz mediante análisis de suelo en el sudeste bonaerense. Visión Rural. 5: 57-58.

- Sakellariou-Makrantonaki, M. Tzimopoulos, C. (1987). Analysis Of A Closed-Form Analytical Model To Predict The Hydraulic Conductivity Function. *J. Hydrol.* 92:289-300.
- Samadi, A.; Sepaskhah, L. (1991). Efectos del riego por surcos alternos en el rendimiento y la eficiencia del uso del agua en fríjol. *Agriculture Research* 3(2): 95-115. Irán.
- Santana, L. (2008). Validación de modelos matemáticos para la estimación de la ETo en condiciones de clima subhúmedo seco. Tesis de Doctorado, Las Tunas.
- Saxton K et al., (1985). Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Agr. Res. Serv. USDA. College of Agric. And Home Economics Agric. Res. Center. Washington State Univ. Scientific Paper No. 6911*, 12 pp.
- Singh, G. (1984). Water use in chickpea as affected by irrigation scheduling in semi-arid region. *Trans. Indian Soc. Desert Technol.* 9:58–61.
- SLHFARM. (2009). Corn evapotranspiration. Disponible en <http://www.slhfarm.org/pert&gh>. [consulta enero 2009].
- Smith, M.; R. Allen y J. Monteith. (1990). Report on the Expert Consultation for the Revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO/AGL, Rome.
- Socorro Quesada MA y D Martín. (1998). Granos. Instituto politécnico nacional. México DF.
- Stone, I F. y J. A. M. Moreira. (1992). Riego de fríjol. En: CIAT: Resúmenes sobre fríjol. Vol. 12 (1): 12.
- Thomas and S. Fukai. (1995). Growth and yield response of barley and chickpea to water stress under three environments in southeast Queensland: II. Root growth and soil water extraction pattern. *Aust. J. Agric. Res.* 46:35–48.
- Thuang, M. D. T y L. F Cunha. (1992). Efecto de la inundación temporal en el fríjol. En: CIAT: Resúmenes sobre fríjol. Vol. 17(2) 4.
- Tuñón et al., (1999). Observaciones practicas sobre el cálculo del balance de agua en el suelo. Estudios en la zona no saturada del suelo. IV Jornada Sobre Investigación de la Zona No Saturada del Suelo. 3-5 noviembre de 1999. Valle Guerra, Tenerife.

- Uhart, S. y F.Andrade (1995). Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. Crop Science. 35: 1376-1383.
- Urrutia A.R. (2009). Efecto de diferentes variantes de régimen de riego sobre el maíz (*Zea mays*, L) en un suelo pardo sialítico mullido del norte de Las Tunas. Trabajo de diploma. CULT.
- Vallone, P; Gudjel ,V Pochettino, A; Segura, L. (2003) Potencial de rendimiento de maíz sin restricciones hídricas ni nutricionales. Maíz Actualización 2003. Información para extensión Nº 80 INTA – EEA Marcos Juárez. Pág. 35-37
- Van Genuchten, M. (2000). RETC Software for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil.
- Van Genuchten, M. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am.J. 44:892-898.
- Van Genuchten, M. Th., Nielsen, D.R.(1985). On Describing and Predicting The Hydraulic Properties Of Unsaturated Soils. Annales Geophysicae 3(5):615-628.
- Vidal, C. (2003). Producción de maíz bajo riego en siembra directa I. Evaluación de híbridos Campaña 2002-03. Maíz en el Norte Santafesino. INTA EEA Reconquista, Santa Fe. Información para extensión Nº 26. Pág 17-21
- Write, Jeffrey W. (1985). Conceptos básicos de Fisiología del frijol. En: frijol: Investigación y producción. Cali. CIAT.
- Yontes, C. D et al., (1991). Respuesta del frijol al estrés hídrico. En: CIAT. Resúmenes sobre frijol. Cali. 16 (1): 15.
- Zamora, Elisa et al., (1997). Manejo del riego de las hortalizas, viandas y granos con restricciones en el suministro de agua. Folleto Impresión Ligera. Instituto de investigaciones de Riego y Drenaje.
-