

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL

AJO

Y SU RELACIÓN CON ESTADOS FENOLÓGICOS

POR: ¹CASTRO FRANCO, Hugo Eduardo / ²CELY REYES, Germán Eduardo / ³SANTOS DALLOS, Yazmin

¹Ingeniero Agrónomo, Programa Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Director Gissat-Uptc
hcastrofranco@yahoo.com.mx

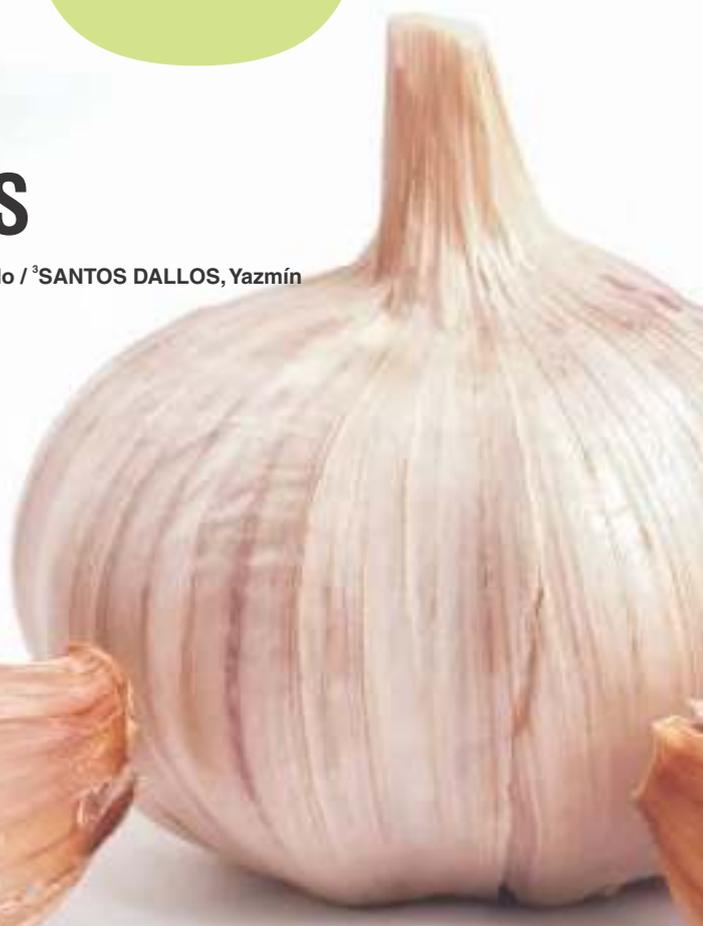
²Programa Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Investigador Gissat-Uptc
german.cely@uptc.edu.co

³Ingeniera Agrónoma, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Integrante Gissat-Uptc
yazmin.santos06@gmail.com

Recibido: 29 de abril de 2014

Aceptado para publicación: 14 de septiembre de 2014

Tipo: Investigación



DETERMINATION OF THE WATER REQUIREMENTS OF GARLIC (*Allium sativum* L.) AND ITS RELATIONSHIP WITH THE CROP'S DEVELOPMENT

RESUMEN

A pesar de la importancia del ajo (*Allium sativum* L.), hay muy poca información disponible sobre las necesidades hídricas para este cultivo en el país, con el presente estudio se busca identificar los requerimientos hídricos del cultivo para cada una de las etapas fenológicas y establecer una programación de riego de acuerdo con las condiciones ambientales de Tunja-Boyacá. La investigación se desarrolló durante el primer semestre del 2013 en la granja "La María" de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. La evaluación de los estadios fenológicos se realizó bajo un diseño de muestreo estratificado con muestreos destructivos efectuados cada siete días a partir del trasplante. El valor de Kc se determinó a través de la metodología propuesta por la FAO. Se instalaron dos lisímetros de un (1) m³ de capacidad con el fin de establecer el consumo hídrico del cultivo, la ETo fue obtenida con los datos de la estación climatológica los cuales se analizaron a través de la ecuación de Penman-Monteith apoyándose del software Cropwat. Se establecieron tres estadios fenológicos para el cultivo de ajo desde el trasplante hasta la cosecha: crecimiento y desarrollo vegetativo, bulbificación y maduración. Los valores de Kc para cada etapa fenológica fueron 0.95, 0.97 y 0.68 respectivamente.

Palabras clave: ajo, coeficiente de cultivo, evapotranspiración de cultivo, riego.

ABSTRACT

Despite the importance of garlic (*Allium sativum* L.), there is not enough information available about the water requirements for garlic crop in the country. The present study is to identify the crop water requirements for each phenological stage and set a watering schedule according to environmental conditions offered in Tunja-Boyacá. This research was conducted during the first half of 2013, on the farm called "La María", which is located in the Pedagogical and Technological University of Colombia. The assessment of the phenological stages in garlic was developed through a stratified sampling design and a destructive sampling design, which were carried out every 7 days after transplant. The value of Kc was determined through the FAO-56 methodology, in which the method was used to find the crop evapotranspiration. In order to establish crop water use, two lysimeters of 1 m³ of capacity were installed. The result of ETo was obtained through the weather station data, these data were analyzed with the Penman-Monteith equation, using the Cropwat software. Three phenological stages for growing garlic (*Allium sativum* L.) were established, from the transplant to the harvest. These stages were: vegetative Growth and development, Bulb initiation and Maturation. Kc values for each phenological stage were 0.95, 0.97 and 0.68 respectively.

Keywords: crop evapotranspiration, crop coefficient, garlic, irrigation,



INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum* L.) es una de las plantas hortícolas más antiguas; originaria del Asia Central y del Mediterráneo. Es una especie que se encuentra distribuida desde el Ecuador hasta los 40° latitud Sur y desde el nivel del mar hasta los 3.700 m s. n. m., lo que demuestra su amplia capacidad de adaptación (Burba, 1992).

El ajo es una planta anual de reproducción vegetativa, que al finalizar su ciclo de vida muere, quedando con vida las yemas que se forman en los dientes, mediante las cuales realiza su reproducción. Las raíces son adventicias y crecen del tallo verdadero, alcanzan una profundidad de 5-45 cm. El tallo es compuesto, presenta túnicas exteriores e interiores, disco o plato, tallo verdadero de la planta madre y dientes. Las hojas se forman después de terminado el estado de reposo de los dientes y constan de limbo y vaina en forma de canal (Cuba MINAG, 1983). El bulbo es el órgano donde se acumulan las sustancias nutritivas; las túnicas externas envuelven el bulbo entero y las internas a los dientes, estos últimos se componen de túnica apergaminada, túnica carnosa, yema y tallo verdadero. Los dientes en el bulbo pueden ser simples o compuestos; los simples tienen una sola yema y los compuestos dos o más y su número en el bulbo o cabeza depende de la variedad (Cuba MINAG, 1983; Glaconi, 1993).

El cultivo de ajo requiere entre 400 y 500 mm de lámina de agua durante su ciclo vegetativo. Teniendo en cuenta las características del sistema radicular del ajo, los riegos deben ser frecuentes y de poca intensidad procurando mantener húmedo el suelo hasta los 40 cm de profundidad (Pinzón, 1999).

Los riegos tienen gran importancia, ya que interactúan con otros factores como los bioclimáticos y la fertilización, por lo que para lograr un crecimiento satisfactorio y una producción aceptable es conveniente mantener el suelo prácticamente al 75 % de la capacidad de campo durante todo el ciclo (Izquierdo, 2006). El ajo es un cultivo muy susceptible a los factores de manejo destacándose entre ellos la disponibilidad hídrica. Este cultivo presenta un arraigamiento muy superficial, por lo cual el volumen de agua retenido útil para el cultivo es pequeño, lo que exige riegos frecuentes en caso de sequías o ausencia de lluvias por periodos de más de una semana (Peralta & Kehr, 2002). La cantidad de agua requerida por el cultivo de ajo para optimizar aspectos cualitativos y cuantitativos depende, entre otros, del cultivar, el tipo de suelo y el clima (Lipinski & Gaviola, 2007).

La producción de ajo en Colombia se ha incluido en las estadísticas del sector agrícola desde los años 50 y desde entonces se ha convertido en un producto indispensable en la canasta familiar de los colombianos (Pinzón, 2009). Los principales departamentos productores de ajo en el país son: Boyacá, Cundinamarca y Santander, pero a pesar de la alta demanda de ajo en el mercado nacional y las condiciones agroclimáticas que ofrece la región, en los últimos años la producción ha disminuido debido a la ausencia de semillas de buena calidad y el poco conocimiento técnico para el manejo del cultivo (Pinzón, 2009).

Existe una gran diversidad de criterios con el manejo del



riego en el cultivo de ajo. Sin embargo, no resulta sencillo ajustarse a un único modelo, ya que el mismo depende de las características físico-químicas del suelo, de las condiciones climáticas, de los requerimientos del ecotipo y la calidad del agua. Se sabe, en términos generales, que un riego inadecuado reduce el tamaño y por consiguiente el rendimiento de los bulbos, debido al deterioro de los procesos de crecimiento.

Debido al sistema radical superficial del ajo (90 % de las raíces en los primeros 30 cm), los riegos deberían realizarse con la mayor frecuencia posible y con láminas pequeñas. Los periodos de sequía en cualquiera de las etapas del cultivo (de brotación a senescencia) resultan perjudiciales para la producción. Sin embargo, la etapa más crítica, en cuanto al requerimiento de agua, es la comprendida entre plantación y diferenciación de "dientes". Este efecto perjudicial se manifiesta fundamentalmente en la disminución del peso de los dientes, no afectando al número de estos (Ávila, 2007).

Durante el periodo de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está



representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de Kc: los correspondientes a la etapa inicial (Kc ini), la etapa de mediados de temporada (Kc med) y la etapa final (Kc fin) (FAO, 2006). Por lo anterior, el presente trabajo se centra en establecer los valores del coeficiente de cultivo (Kc) en cada una de las etapas fenológicas del ajo, con el fin de determinar el volumen de agua necesaria para el cultivo buscando reducir aplicaciones innecesarias y/o deficientes que puedan llevar a pérdidas por bajas producciones o presencia de problemas fitosanitarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se desarrolló durante el primer semestre del año 2013 en la granja “La María” de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) Tunja, ubicada a los 5° 33' 09,59" N y 73° 21' 37,56" O, con una altura de 2.696 m s. n. m. y una temperatura media de 12 °C. Los datos climáticos se obtuvieron de la estación ubicada en la misma universidad.

Material vegetal. La semilla utilizada en la investigación fue la variedad nacional denominada “Rubí -1” que se produce en el altiplano Cundiboyacense. Se adapta bien desde los 2.200 hasta los 3.000 m s. n. m., la altura de la planta varía entre 50 - 60 cm; posee hojas erectas, gruesas y de color verde oscuro. Su área foliar es mayor que los ajos sembrados actualmente en Colombia, el bulbo es de forma globosa y piel de tinte rojo, con un peso que oscila entre 50 - 70 gr, y un diámetro entre 6 - 8 cm. Los dientes son largos, angostos y de color rojo (Pinzón, 1999).

Manejo del cultivo. A partir de la interpretación de los datos obtenidos del análisis de suelo y conociendo algunas características sobre el cultivo de ajo, se procedió a establecer el ensayo en campo.

El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las prácticas utilizadas por los productores de la región. Las distancias de siembra variaron un poco ya que en la zona se está manejando una alta densidad de siembra y esto conlleva que se presenten problemas fitosanitarios; el riego y la fertilización también se ajustaron de acuerdo con los requerimientos del cultivo. El área de trasplante fue 1,20 m de ancho

por 35 m de largo, se realizó el trasplante a una distancia de 20 cm entre surcos y 10 cm entre plantas.

Evaluación de la Fenología. A partir de la fecha de trasplante, se siguieron los estadios fenológicos a través de observaciones *in vivo* cada siete días durante la totalidad del periodo vegetativo, llevando un registro escrito y fotográfico del desarrollo del cultivo, de acuerdo con la metodología propuesta por (Bleiholder *et al.*, 1998). Se tomaron aleatoriamente 5 plantas dentro del lote para realizar las mediciones de cada una de las variables propuestas en la metodología. Las variables que se tuvieron en cuenta para la estimación de la evaluación fenológica fueron: altura de la planta, número de hojas, peso fresco y peso seco de la raíz, parte aérea (Hojas) y bulbo, longitud de la raíz, número de dientes por bulbo, diámetro del bulbo.

Los resultados obtenidos se compararon con la escala general de fenologías existente para todas las especies vegetales y la propuesta por Bleiholder *et al.*, (1998), donde muestra la escala específica de desarrollo de las hortalizas de plantas bulbosas.

Estimación del Coeficiente de Cultivo (Kc): Para obtener el coeficiente de cultivo (Kc) para cada uno de los estadios fenológicos del cultivo de ajo, se utilizó la metodología propuesta por la FAO. Los datos para establecer el valor de Kc se tomaron diariamente con base en la información suministrada por la estación climatológica y los tomados en campo.

El valor de Kc es posible obtenerlo de la relación entre la evapotranspiración de un cultivo (ETc), durante una etapa definida, con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) estimada por la metodología propuesta por la FAO (FAO, 1999). Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc), se instalaron dos lisímetros en el lote de experimentación. Cada lisímetro fue fabricado en fibra de vidrio con capacidad de un metro cúbico, en el fondo se ubicó una lámina, con orificios del mismo material del tanque que fue ubicada a 25 cm del fondo, por medio de los cuales ingresaba el agua de drenaje y que no fue utilizada por el cultivo. Sobre esta lámina se colocó una capa de grava y posteriormente se llenó con el mismo suelo extraído, donde se ubicaron cada uno de los lisímetros, teniendo precaución de no invertir las capas del suelo, para luego ubicarlas de la misma forma en los lisímetros y así mantener el perfil original del suelo.

El tanque se ubicó de forma nivelada y dejando un borde de 5 cm sobre el nivel del suelo para evitar la entrada de agua de escorrentía. El agua que drenó al fondo del lisímetro se evacuó por medio de un tubo de PVC instalado en una esquina de este, con la ayuda de una bomba de succión. Una vez colocado el suelo dentro de lisímetro se realizó el trasplante, teniendo en cuenta las medidas de las camas y las distancias de siembra.

Para determinar la ETc por medio del método del lisímetro, fue indispensable tener en cuenta cada uno de los siguientes parámetros: precipitación diaria medida a través de pluviómetros instalados en el área de estudio, lámina de riego, drenaje que se extrajo del lisímetro y los cambios en el contenido de humedad del suelo. Durante el ciclo de cultivo se hizo un monitoreo para cuantificar las variables contempladas en la

ecuación del balance hídrico, de la cual se despejó ETc (Castro, *et al.*, 2009).

Ecuación del balance hídrico: $P + I +/- R_o = ET_c +/- D +/- \Delta W$

Despejando: $ET_c = P + I + D +/- \Delta W +/- R_o$

Donde: P = Precipitación media a través de los pluviómetros, en milímetros.

I = Lámina de riego aplicada, en riegos. Se aplicó la cantidad de agua evaporada por día.

ET = Evapotranspiración. Dato obtenido de la estación climatológica.

D = Percolación o agua de drenaje en milímetros. Extraída del fondo de los lisímetros con la bomba de succión, generalmente después de una lluvia fuerte.

ΔW = Cambios en el contenido de humedad del suelo. Se tomó diariamente mediante las sondas de humedad.

R_o = Escorrentía. Se controló con las paredes del lisímetro, entonces se tomó como cero).

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) se calculó a través del programa *Cropwat* (Castro *et al.*, 2009), con los datos climáticos suministrados por la estación climatológica de la UPTC- Tunja. Con el programa se calcularon los requerimientos de agua (RAC) y la programación de riego del cultivo. Se emplearon datos de temperatura,



humedad, velocidad del viento y radiación solar para estimar la ETo aplicando la ecuación de Penman-Monteith,

Para la determinación de los estados fenológicos se utilizó un diseño de muestreo estratificado; en los muestreos destructivos efectuados a intervalos de siete días después del trasplante se tomó información cualitativa y cuantitativa según las variables estudiadas, como longitud, número de órganos, peso fresco y peso seco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadios Fenológicos del Ajo. Durante el ciclo de cultivo se determinaron tres estadios fenológicos: crecimiento y desarrollo vegetativo, bulbificación y maduración. Durante cada etapa se evidenciaron cambios en las variables estudiadas desde el momento del trasplante hasta la cosecha.

Fase I. Crecimiento y Desarrollo Vegetativo. Esta fase se caracterizó por la formación de raíces y hojas, no existiendo desarrollo del bulbo. La acumulación de masa fue mínima y no hubo cambios fenotípicos significativos, esta fase se desarrolló desde el trasplante hasta el inicio de la bulbificación (Vásquez, 2008). El diámetro ecuatorial alcanzó en promedio 1,13 cm, a los 21 días después del trasplante, desaparece la semilla inicialmente sembrada para dar paso al desarrollo de un nuevo bulbo (Figura 1E), empiezan a desaparecer las hojas infértiles (aquellas que no tienen dientes) coincidiendo con lo

observado por Rodríguez, *et al.*, (1998), quien afirma que a partir de los 29 días después de la germinación termina la fenofase de las hojas infértiles.

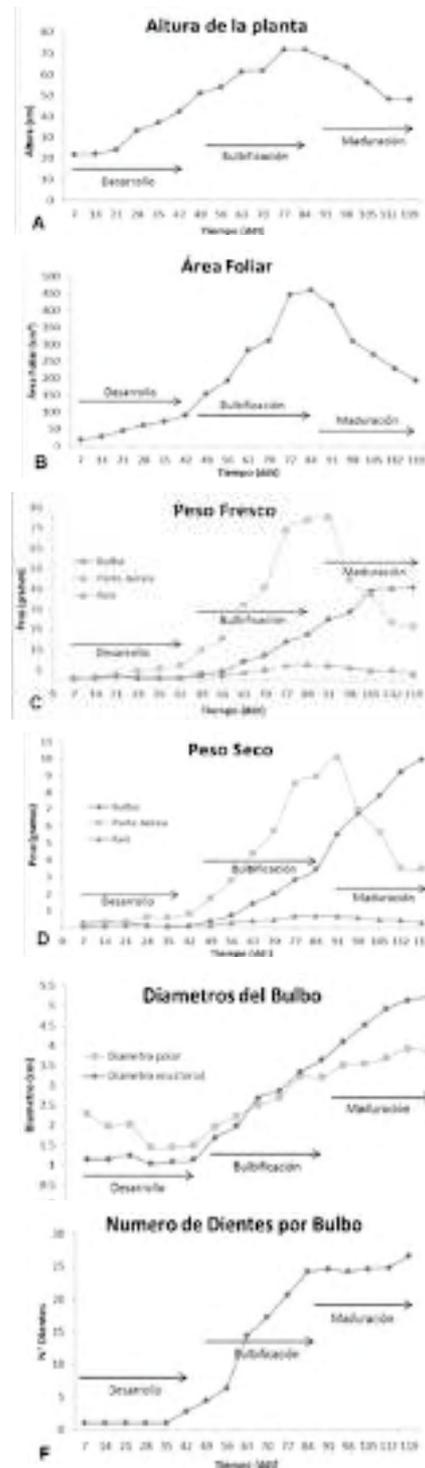


Figura 1. Principales variables morfométricas y fisiológicas analizadas para determinar las fases fenológicas del cultivo de ajo.



Esta fase tuvo una duración de 42 días, correspondiente al 35,29 % del tiempo total del ciclo del cultivo, en el cual se observó un aumento mínimo y constante en el crecimiento y desarrollo, los mayores cambios se observaron en la longitud de las plantas alcanzando un valor máximo de 42 cm, que corresponde a un 58 % de la altura total de la planta (Figura 1A). Otro cambio determinante se evidenció en la acumulación de masa fresca y seca, las gráficas C y D muestran los mayores pesos en la parte aérea con respecto a los pesos de la parte subterránea, observándose el mismo comportamiento reportado en cebolla de bulbo por (Vásquez, 2008). Al finalizar la fase I, la acumulación de masa fresca del bulbo fue en promedio de 1.34 gr con un coeficiente de variación de 31.16 %, y la acumulación masa seca fue de 0.22 gr con un coeficiente de variación de 48.94 %, La parte aérea mostró un comportamiento similar con un aumento promedio de 3.97 gr en peso fresco y 0.48 gr en peso seco.

Fase II. Bulbificación: La fase completa duró 41 días y va desde el día 43 después de trasplante hasta el día 84 ddt, donde se presentaron los cambios más importantes para el cultivo. Durante esta fase se observó un aumento importante en la mayoría de las variables fisiológicas estudiadas, principalmente en la acumulación de masa tanto de la parte aérea como subterránea. Al iniciar esta fase ocurrió la división del bulbo o formación de dientes, la cual fue aumentando gradualmente hasta completar casi la totalidad del bulbo que se formaría durante todo el ciclo de cultivo (Figura 1E); los diámetros polar y ecuatorial aumentaron significativamente con un coeficiente de variación de 19.53 % y 28.04 % respectivamente. Al inicio de esta fase el diámetro polar continuó siendo mayor, pero en la plenitud de la fase (60 ddt) el diámetro ecuatorial lo sobrepasó.

Al final de la fase el bulbo presentó de 20 a 24 pequeños dientes de color blanco y muy delgados (Figura 1F), y alcanzó un promedio de 2.63 cm de diámetro ecuatorial el cual

equivale a un 56.39 % del diámetro total del bulbo. El peso promedio en fresco fue de 11.72 gr equivalente al 29,59 % del peso total y el peso seco fue 1.80 gr, lo que equivale a un 22.92%. Se presentó una relación directa entre la producción de masa seca y el área foliar de la planta dado que comienzan a aparecer nuevas hojas. La masa seca acumulada en la parte aérea (5.37 gr) prácticamente duplicó a la acumulada en los órganos subterráneos (2.25 gr). El área foliar alcanzó su máximo valor a los 84 ddt y por lo tanto presentó una estructura foliar más grande, lo que indica un aumento en un 80 % hasta el final de la fase, debido principalmente al crecimiento y engrosamiento de la hoja (Figura 1B) (Vásquez, 2008).

La altura de la planta al final de la fase alcanzó su crecimiento máximo que fue de 72 cm (Figura 1A) el número de hojas siguió en aumento hasta alcanzar un total de 11 hojas por planta, el cual es menor que el reportado por Rodríguez *et al.*, (1998), donde se presentó un total de 15 hojas por planta.

Fase III. Maduración. En esta fase se completó el ciclo de cultivo y la duración de 34 días, desde los 85 hasta los 119 ddt, los parámetros fisiológicos de peso fresco (Figura 1C) y seco (Figura 1D) de la parte subterránea presentaron principalmente un aumento marcado del bulbo, el cual termina de completar su engrosamiento y formación de dientes aunque su incremento en el número de estos fue mínimo alcanzando, un total de 27 dientes por bulbo (Figura 1F), llevando a que el diámetro ecuatorial del bulbo alcanzara su máximo valor, 5.22 cm, evento que ocurrió a los 119 ddt. Lo anterior indica que el número de dientes encontrados en la presente investigación fue menor que el reportado por (Pardo *et al.*, 2003) en Venezuela, donde cultivares de coloración morada alcanzaron un promedio de 40 dientes por bulbo.

El peso fresco del bulbo alcanzó un valor máximo de 45.75 gr (Figura 1C) y el peso seco 9.96 gr (Figura 1D). Estos datos coinciden por los presentados por Rodríguez *et al.*, (1998), donde se afirma que la relación entre el peso seco del bulbo y

la materia seca total crecen continuamente desde el momento de la aparición de los primeros dientes hasta la época de la cosecha.

La parte foliar pierde importancia siendo evidente que la altura de la planta, peso fresco y peso seco de la parte aérea, número de hojas y diámetro del tallo, disminuyeron gradualmente a medida que el bulbo incrementaba su peso y tamaño. Al final de la fase las hojas disminuyeron su actividad fotosintética evidenciado por la senescencia y el área foliar alcanzó un promedio de 283.22 cm² y un coeficiente de variación de 30.23 %.

Coefficiente de Cultivo. Debido a las variaciones características propias del cultivo, junto a las condiciones climáticas presentes en la zona donde se realizó el estudio, el valor de Kc varió desde la siembra hasta el momento de la cosecha (Figura 2), encontrándose una alta variación en cada fase. Para la fase I el coeficiente de cultivo fue en promedio de 0,95 con un CV de 17.9 %, para la fase de bulbificación se reportó un Kc promedio de 0.97 con un CV de 11.39 % y en la etapa final de maduración el Kc fue de 0.68 con un CV 35.62%, siendo esta etapa la que mayor variación presentó de todo el ciclo.

Los valores de Kc obtenidos en el presente estudio se encuentran en el rango de 0,4 hasta 1.2 (Figura 2B), y varían con respecto a lo reportado por Allen *et al.*, (2006), donde se mostró un rango de Kc 0.7 en las fases inicial y final y un Kc de 1 para la etapa de bulbificación. Igualmente son superiores a los obtenidos por Ferreyra *et al.*, (1990), para el cultivo de ajo en Chile, los cuales están entre 0.4 para los valores mínimos y 0.65 para el máximo valor.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas existentes durante el ciclo de cultivo, la evapotranspiración de referencia ETo presentó una alta variabilidad diaria con datos que van desde 1.8-4.4mm.día⁻¹, lo cual influye directamente en los valores de ETc y Kc. Esta variabilidad se debió principalmente a la fluctuación de la radiación solar, la cual en las primeras semanas del cultivo fue alta hasta los 56 ddt.

Según Tyagi *et al.*,(2000) y Villalobos *et al.*,(2004), los valores altos de ETo en la fase inicial se deben principalmente a la alta radiación solar la cual en condiciones de campo influyen directa y significativamente a pesar que el área foliar del cultivo es reducida.

En la fase I, la evapotranspiración de referencia ETo, presentó un valor promedio de 3,20 mm día⁻¹. La evapotranspiración de cultivo ETc, al inicio presentó valores diarios altos de como 4 mm día⁻¹ pero al final de la etapa se redujo hasta 1.94 mm día⁻¹(Figura 3), de acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta que Kc es el resultado de la relación entre las dos evapotranspiraciones y conociendo su comportamiento, la primera fase del cultivo se presentó valores altos que alcanzaron su punto máximo en 1.2. (Figura 3)

Posteriormente con el desarrollo del cultivo, en la fase II, la ETc se estabilizó llegando a obtener valores promedio de 3 mm día⁻¹ en la plenitud de la bulbificación, presentando la menor variación de todo el ciclo de cultivo. Así mismo la ETo reportó su punto más alto a los 56 ddt llegando a 3,9 mm día⁻¹ (Figura 3). En la bulbificación el Kc presentó valores de 0.85 el

cual aumento gradualmente y llegó a 1.19 al final de la fase (Figura 3), con un promedio de 0.97. Este comportamiento corresponde en esta fase a una mayor acumulación de materia seca total, la planta está en su etapa de mayor desarrollo y en consecuencia sus requerimientos son mayores (Ferreyra *et al.*, 1990).

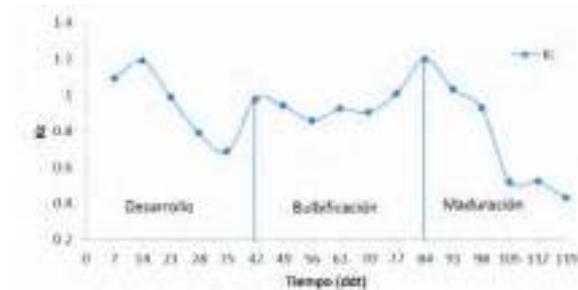


Figura 2: Coeficiente de cultivo para el cultivo de ajo.

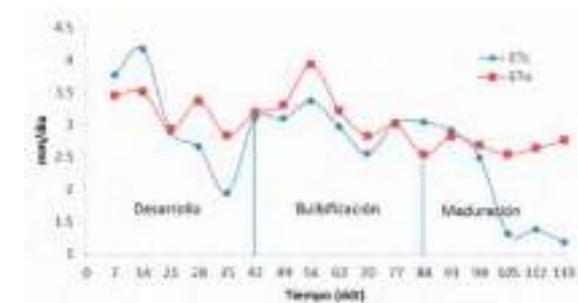


Figura 3. Evapotranspiración de referencia y de cultivo para el ajo.

En la etapa de maduración culmina el momento de la cosecha, el cultivo sufre un proceso de senescencia, a partir de este momento tanto la ETc como el Kc se reducen en la medida que el cultivo va perdiendo su capacidad fisiológica. Al inicio de la fase se evidenció que las plantas alcanzaron el máximo Kc 1.19, lo que coincide con el mayor desarrollo de área foliar, y al finalizar obtuvo un valor de Kc 1.02. La ETc muestra valores promedio de 1.84 mm día⁻¹, y la ETo evidencia un comportamiento casi estable durante toda la fase reportando un valor promedio de 2.68 mm día⁻¹ y baja variación (Figura 3).

Necesidades Hídricas del Cultivo de Ajo. En la determinación de las necesidades de hídricas para los cultivos hay que considerar que varían temporal y espacialmente en función del clima, manejo, fase fenológica y variedad del cultivo, y dependen de la evapotranspiración, el uso consuntivo y la evapotranspiración del cultivo, por lo que su cálculo debe ser a nivel local (Castro *et al.*, 2009).

En la presente investigación el cultivo de ajo presentó valores de consumo hídrico total de 254.76 mm de agua para todo el ciclo. En cada una de las fases el consumo varió según el desarrollo y requerimientos del cultivo. El consumo de agua para la fase de bulbificación fue el mayor (Figura 3), pues corresponde a la etapa donde se presentan las mayores

acumulaciones de biomasa y los órganos están en pleno desarrollo. Estos datos presentan una tendencia similar a los reportados para cebolla de bulbo, en distrito de riego del Alto Chicamocha (Castro *et al.*, 2009).

La fase de desarrollo de hojas presentó un consumo cercano al de la fase de bulbificación, ya que durante esta los riegos fueron más frecuentes debido a que la radiación fue alta y a que las plántulas no se debían someter a un estrés hídrico.

En la fase de maduración se redujo el tiempo y frecuencia de riego teniendo en cuenta el bajo consumo de agua por parte del cultivo, y las sugerencias de disminuir el riego, por lo menos 2 semanas antes de la cosecha, para evitar la descomposición, la decoloración de la piel de los bulbos y la exposición de los dientes exteriores (Hanson *et al.*, 2003). Pinzón (1999) plantea que el riego en la fase final puede causar agrietamientos de los bulbos y formación de falsos tallos.

CONCLUSIONES

El coeficiente de cultivo (K_c) del ajo, bajo las condiciones de Tunja-Boyacá para las fases fenológicas de crecimiento y desarrollo vegetativo, bulbificación y maduración fue de 0.95, 0.97 y 0.68 respectivamente.

Las necesidades hídricas del ajo son 254.76 mm de agua durante la totalidad del ciclo de cultivo, siendo la fase de bulbificación donde se presenta el mayor consumo de agua y es la etapa más susceptible al déficit hídrico.

Las fases fenológicas del cultivo tuvieron una duración de 41 días para crecimiento y desarrollo, 43 días para bulbificación y 35 días para maduración.

El consumo de agua para la fase de bulbificación fue el mayor, la fase de desarrollo de hojas presentó un consumo cercano al de la fase de bulbificación, se recomienda reducir el tiempo y frecuencia de riego en la fase de maduración.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. (2006). Guía de estudio y drenaje No. 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Manual N° 56. Serie Riego y drenaje. FAO, Roma, Italia. 298 p.
- Ávila, G. T. (2007). Factores de manejo del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) que determinan la calidad del producto a la cosecha, *Avances en Horticultura* 5. 2007. Edición on-line, Taller de prácticas agrícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. C.C. 509.; URL5000 Córdoba. Argentina. Recuperado de http://www.horti.culturaar.com.ar/bajar.php?archivo=2007*07-Avila.pdf&nombre=Factores%20de%20manejo%20del%20cultivo%20de%20ajo%20que%20determinan%20la%20calidad%20del%20producto%20a%20la%20cosecha.
- Ayala, J. (2012). Análisis del crecimiento y calidad de semillas de tres tipos de Chile (*Capsicum annuum* L.) Montecillo, Texcoco, México. Recuperado de http://www.biblioteca.org.ar/libros/8080/jspui/bitstream/handle/10521/722/Ayala_Villegas_MJ_MC_Fisiologia_Vegetal_2012.pdf?sequence=3.
- Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, H., Hack, R., H., Klose, M., Hess, R., Stauss, U., Meier, T. & Weber, E. (1998). Compendio para la Identificación de los Estadios Fenológicos de Especies Mono- y Dicotiledóneas Cultivadas - Escala BBCH Extendida. Alemania.
- Burba, J. L. (1992). Producción, propagación y utilización del ajo (*Allium sativum*). Eds. Izquierdo, J., Paltrinieri G. & Arias, C. En Producción, poscosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (pp. 63-127). Santiago, Chile.
- Castro, H., Cely, G. & Vásquez, S. (2009). Criterios técnicos para un manejo eficiente del riego en cebolla de bulbo, distrito de riego Alto Chicamocha – Boyacá. Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales – GISSAT – Uptc.
- CUBA MINAG, (1983). Instructivo Técnico del Cultivo de Ajo. Dirección Nacional de Cultivos Varios.
- FAO. (2009). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual CROPWAT. Recuperado de www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56. Roma.
- FAO, (1990). Cálculo de ET₀: Método de Penman-Monteith. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Rome, Italy, (pp. 28-31) Expert consultation on revision of FAO methodologies. Recuperado de http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/C3%20A11culo_ET0dic12_tcm7-245757.pdf
- Ferreira, R., Fritsch, N., Navarrete, C. & Peralta, M. (1990). Programación del riego para el cultivo del ajo (*Allium sativum* L.). *Agricultura Técnica*. 50(4), Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR08738.pdf>.
- Glaconni, V. (1993). Cultivo de Hortalizas/ M. Escaff-8. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, INIA.
- Hanson, B., May, D., Voss, R., Cantwell, M. & Rice, R. (2003). Response of garlic to irrigation water. *Agricultural water management*. 58(1), Recuperado de www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377402000768.
- Izquierdo, H. (2006). Instructivo Técnico para la Producción de Ajo-Semilla de Alta Calidad Fitosanitaria Mediante el Empleo de Técnicas Biotecnológicas. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 10. Recuperado de <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/nfnotas15R2.pdf>.
- León, M. E. (1991). Estudio del régimen de riego, densidades de siembra y su influencia en la conservación de distintos clones de ajo. Informe Final de Etapa. Resultado 510.
- Lipinski, V. & Gaviola, S. (2007). Evaluación de Cultivares de Ajo (*Allium sativum* L.) Blanco Bajo Déficit Controlado de Riego. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Recuperado de <http://www.ina.gov.ar/pdf/CRA-IVFERTI/CRA-RYD-14-Lipinski.pdf>.
- Pardo, A. & Marín, C. (2003). Clasificación de Cultivares de Ajo por Métodos de Análisis Multivariado. *Agronomía Tropic*, 53(4) 10-21, 397-416. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0002-192X2003000400002&script=sci_arttext
- Peralta, J. & Kehr, E. (2002). Capítulo 4: Manejo del riego. Cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) para la zona sur de Chile. Temuco – Chile. *Boletín INIA*, 84, 52-61.
- Pinzón, H. (1999). RUBÍ-1 Primera variedad colombiana de ajo. Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria CORPOICA y servicio Nacional de Aprendizaje SENA.
- Pinzón, H. (1998). Los cultivos de cebolla y ajo en Colombia: estado del arte y perspectivas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 3(1). 11. Recuperado de http://virtual.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/760.
- Rodríguez, J., Pinzón, H., Laverde, H. & Corchuelo, G. (1998). Comportamiento del Crecimiento y Desarrollo del Ajo (*Allium sativum*) CV. Rosado Criollo. *Revista Agronomía Colombiana*, XV (1), 76-81.
- Tyagi, N., Sharma, D. & Luthra, S. (2000). Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural water management*, 45(1), 41-54. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377499000712>.
- Vásquez, S. (2008). Determinación del K_c durante los estadios fenológicos de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) en el distrito de riego del alto Chicamocha. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá, Colombia. .
- Villalobos, F., Testi, L., Rizzalli, R. & Orgaz, F. (2004). Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated garlic (*Allium sativum* L.) in a semi-arid climate. *Agricultural water management*, 64(3), 233-249. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377403001987>.