

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
"Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal"

Centro Universitario de Guantánamo
"Facultad Agro-Forestal"

CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RELACIONES HÍDRICAS EN LA
ALBAHACA BLANCA (*Ocimum basilicum* L.) EN FUNCIÓN DEL
ABASTECIMIENTO HÍDRICO

**Tesis presentada en opción al grado científico de
Doctor en Ciencias Agrícolas**

Autor: Ing. Luperio Barroso Frómeta

**Tutores: Dr. C. Eduardo I. Jerez Mompie
Dr. C. Pedro Rodríguez Hernández**

**La Habana
2004**

PARA HACER PRODUCIR HACE FALTA:

- SALIR DE LAS OFICINAS*
- INTENARSE EN EL CAMPO*
- ENSUCIARSE LAS MANOS Y SUDAR*

*ES EL UNICO LENGUAJE QUE ENTIENDEN:
EL SUELO, LAS PLANTAS Y LOS ANIMALES*

***Dr. NORMAN E. BORLANG
PREMIO NOBEL DE LA PAZ.***

Agradecimientos

Con la culminación de este trabajo de tesis quiero agradecer y expresar mi reconocimiento a todas aquellas personas que han hecho posible su realización.

*Quiero agradecer en primer lugar al **Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)** y en su nombre al director **Dr. C. José R. Martín Triana**, así como a la dirección de **Post-grado** por haberme acogido como un trabajador más del centro y haber puesto a mi disposición sus instalaciones y servicios para garantizar la investigación de mi tesis.*

*A las compañeras del departamento de **ICT** por su apoyo incondicional en la búsqueda de información y haberme soportado las molestias causadas por tanto tiempo.*

*A todos los compañeros del departamento de **Micorriza** por la ayuda prestada con dedicación y ocupación en la evaluación y procesamiento de las muestras.*

*A los compañeros del departamento de **fitotecnia, Genética y Agroquímica** por siempre estar dispuestos a extenderme una mano.*

*A los compañeros de la **subdirección de Economía y Servicios con sus diferentes Secciones; Transporte, Servicios Internos, Mantenimiento y Construcción, Grupo de Protección y Seguridad, así como los Departamentos de Economía, ATM y Recursos Humanos** quienes con sus generosidades hicieron posible una estancia en el INCA mucho más grata.*

*A los compañeros del departamento de **Matemática Aplicada** y en su nombre al **Dr. C. Alberto Caballero** por su ayuda prestada y su sincera amistad.*

*Mi más profundo reconocimiento al departamento de **Fisiología y Bioquímica Vegetal** y en especial al **Grupo de Fisiología**, por acogerme de manera incondicional hasta lograr el objetivo propuesto.*

*A los Doctores en Ciencias **Eduardo Jerez** y **Pedro Rodríguez** por aceptar la tutoría de la tesis y haberme guiado para dar cumplimiento a cada objetivo del trabajo científico y sobre todo por su amistad y confianza que en todo momento he recibido.*

*A los Doctores en Ciencias **Walfredo Torres** y **Donaldo Morales** por haberme brindado sus conocimientos, dedicación y esfuerzo a través de las distintas revisiones hechas al documento de tesis.*

*A las Doctoras en Ciencias **Mirian Núñez**, **Inés Reynaldo** y **Ofelia Sam** por sus oportunos consejos brindados durante mi estancia en el INCA.*

*Al Doctor en Ciencias **José Dell'Amico**. Muchas gracias por su colaboración científica, por transmitirme siempre cualquier detalle que pudiera enriquecer mi formación profesional.*

*Al Doctor en Ciencias **Ramón Iglesias**. Gracias por su confianza durante estos años.*

*Al **Ms. C. Omar Cartaya** por su apoyo en la realización de las distintas muestras de aceites evaluadas en el laboratorio.*

*A todos los **Ingenieros**, **Licenciados**, **Especialistas** y **Técnicos** del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal por su ayuda brindada en cada momento del desarrollo del documento de tesis.*

*A mis **Compañeros** y **amigos** de la **Casa de post-grado del INCA** por la amistad que he recibido en todo ese tiempo y por los buenos ratos que hemos pasado juntos.*

*A mi **Madre** y **Hermanos** quiero agradecerle todo el cariño y el ánimo que me han dado y principalmente quiero reconocer el apoyo que siempre me dieron con mis hijos, garantizando la tranquilidad necesaria para la realización de esta tesis.*

*A mis **Hijos** por haber soportado esta separación transitoria pero necesaria durante estos años.*

*A mi esposa **Adalis del Toro**. Gracias por su amor, cariño y comprensión, por el apoyo moral e incondicional que siempre he recibido de ella. Por darme tranquilidad y confianza de que siempre podría contar con ella en la atención de mis hijos y mi madre.*

Dedicatoria

*Con amor, a quienes debo no solo la existencia,
sino la razón y el sentido de la vida.*

Mis Padres: Luperio Barroso e Irene Frómeta.

Mis Hijos: Yadira, Antonio Y Christian.

Mi Esposa: Adalis del Toro Cuza.

Síntesis

Este trabajo se realizó a partir de tres grupos de experimentos en los que se utilizaron semillas de albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) sembradas en un sustrato compuesto por suelo y materia orgánica. Se estudiaron las alteraciones en el crecimiento, el desarrollo y las relaciones hídricas, así como en la producción de aceites esenciales en plantas sometidas a déficit hídrico.

Los experimentos realizados permitieron definir que el crecimiento del cultivo y las variables que miden el estado hídrico de las plantas estuvieron influidos por la humedad presente en el sustrato. El grado de estrés, el modo y el momento de aplicación tuvieron un efecto directo en el crecimiento y las relaciones hídricas del vegetal. La técnica de las curvas presión-volumen resultó ser efectiva para describir las respuestas del cultivo de la albahaca ante los diferentes niveles de estrés impuestos, los indicadores obtenidos identificaron las plantas de albahaca como una especie poco resistente al estrés hídrico. El grado de estrés a la cual estuvieron sometidas las plantas resultó estar relacionado con la producción de los aceites esenciales, de esta forma las plantas estresadas mostraron un mayor rendimiento que las plantas control. El proceso de estrés hídrico aplicado a las plantas mostró reducción de pérdida de agua vía transpiración. No se detectó la ocurrencia de ajuste osmótico ni elástico debido, fundamentalmente, a la pérdida de la turgencia celular.

1- Introducción

La albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) es una especie de planta que se cultiva en un gran número de países por sus cualidades medicinales, aromáticas, ornamentales y melíferas. Su esencia es utilizada en la industria de perfumería y cosméticos y como aromatizante de vinagres, vegetales en conserva y mostazas (Cheping, 1993).

Actualmente, las plantas medicinales han alcanzado gran popularidad ante la necesidad de buscar alternativas en el enfrentamiento a diferentes dolencias. Sus propiedades aromáticas están determinadas por la presencia de aceites esenciales con principios volátiles, resultantes del metabolismo secundario que caracteriza a estas especies (Lorduy y Mache, 1991).

El género *Ocimum* comprende más de 30 especies distribuidas en el trópico y subtropical (Ramírez *et al.*, 2001), donde la especie *Ocimum basilicum* L. aporta la mayor cantidad de aceites esenciales, con una producción mundial de 42.5 toneladas por año.

Debido a la diversidad de condiciones de suelos y climas en que se cultiva la albahaca blanca se hace difícil establecer una generalización de su fenología, esto implica la necesidad de identificación de cada una de sus fases fenológicas y la duración de su ciclo biológico para las condiciones específicas de cada ecosistema.

Los trabajos realizados en esta especie en Cuba, no han sido suficientemente amplios en temáticas enfocadas a su fisiología y en particular, los estudios afines con sus relaciones hídricas, son aún más escasos, aspecto importante para la realización de un manejo óptimo del agua.

El suministro de agua a los cultivos es una práctica que se hace cada vez más costosa a nivel mundial, por el empleo de renglones energéticos caros y por la escasez cada vez más creciente de los

recursos hidráulicos. Particularmente en Cuba esta situación se agrava, por presentar un régimen pluviométrico poco uniforme en el año; por ello, el interés de hacer un uso racional de esta actividad.

Resulta imprescindible conocer las respuestas de la especie *Ocimum basilicum* L. durante su ciclo de crecimiento y desarrollo ante un suministro específico de agua, ya que la influencia del balance hídrico en la productividad está determinada, entre otros aspectos, por el nivel de humedad presente en el suelo.

Entre los procesos fisiológicos que tienen lugar en las plantas, el crecimiento es uno de los más sensibles a las deficiencias hídricas (Hsiao y Bradford, 1983) con reducciones en la división, alargamiento y diferenciación celular. No obstante, estas afectaciones que causa el estrés hídrico a las plantas, existen especies como las aromáticas en las que resulta beneficioso someterlas a una deficiencia hídrica en algún momento de su ciclo biológico, con el objetivo de incrementar los contenidos de aceites esenciales por unidad de biomasa del vegetal (Azcón-Bieto y Talón, 2001).

El efecto del estrés hídrico en la reducción del crecimiento y la producción de las plantas ha sido ampliamente investigado en los últimos años, debido a que en ambientes naturales la disminución detectada en estos procesos no solo depende del estrés en sí, sino de su interacción con otros factores (luz, temperatura, déficit de presión de vapor, entre otros) en el proceso fotosintético (Natali, Bignami y Cammilli, 1997).

Las plantas terrestres se encuentran frecuentemente sometidas a una amplia variedad de estrés ambientales, el déficit hídrico, es sin lugar a dudas, uno de los más comunes (Hsiao, 1990; Sánchez-Blanco *et al.*, 1993) de ahí que evaluar los indicadores fisiológicos de las relaciones hídricas en las plantas constituye una herramienta fundamental, no solo

para conocer con mayor exactitud los requerimientos de las mismas, sino que también permite conocer las potencialidades de adaptación de éstas a diferentes regímenes de humedad en el suelo, elementos muy importantes a considerar para realizar un manejo eficiente de la aplicación de agua al cultivo.

Las plantas sometidas a deficiencia hídrica expresan una serie de respuestas que se inician con la percepción del estrés, seguido de una transducción de la señal, y se manifiestan con cambios a nivel molecular, celular, fisiológico y del desarrollo de las plantas. Las respuestas observadas dependen de la severidad y duración del estrés, de la especie de planta, de la etapa de desarrollo y de la interacción de factores ambientales, por lo que los estudios relacionados con esta temática continúan siendo necesarios para discernir los mecanismos que las mismas presentan acerca de la resistencia a la sequía.

Tomando en consideración los elementos anteriormente expuestos, se desarrolló el presente trabajo con la siguiente **hipótesis: el crecimiento, el desarrollo y las relaciones hídricas de la albahaca blanca se afectan negativamente con la reducción del suministro hídrico e incrementa la producción de aceites esenciales.**

Objetivo general

Determinar el efecto que produce el suministro de agua en el crecimiento, el desarrollo y las relaciones hídricas de plantas de albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) y su relación con la producción de aceites esenciales.

Objetivos específicos

- Determinar la duración de las fases fenológicas del cultivo en dos momentos de siembra con condiciones climáticas diferentes.

- Evaluar el comportamiento del crecimiento y desarrollo de las plantas expuestas a diferentes niveles de abastecimiento hídrico al sustrato y su relación con la producción de aceites esenciales en el momento del corte.
- Determinar algunos de los mecanismos fisiológicos de respuesta al estrés hídrico presentes en las plantas de albahaca blanca.

Novedad científica

- La investigación establece la duración de las fases fenológicas del cultivo de *Ocimum basilicum* L. en dos momentos de siembra con condiciones climáticas diferentes; con las curvas presión-volumen se determinaron algunos mecanismos fisiológicos de resistencia a la sequía, lo que permitió definir la sensibilidad de la especie al déficit hídrico. Asimismo, se brinda una práctica alternativa para lograr incrementar el contenido de aceites esenciales en esta especie aromática, lo que pudiera ser de interés para otras especies de este tipo.

2.- Revisión bibliográfica

2.1.- Origen e historia de la especie *Ocimum basilicum* L. Características botánicas

La especie *Ocimum basilicum* L de la familia Lamiaceae (Alfonso, 1995) es una planta herbácea anual (Figueroa y Lama, 2000) de tallo anguloso ramificado, de 30 a 50 cm de altura, con hojas pecioladas, opuestas y ovales. En la parte superior del tallo y en las axilas de las hojas brotan verticilos impares de flores blancas, rosáceas o amarillas. Sus frutos son tetraquenios (Paredes, 1998).

Además de atribuirles propiedades mágicas de ahuyentar los malos espíritus y los maleficios, es una de las especies aromáticas con una interesante y larga historia (Cabrera, 1997). Su origen es asiático y algunas de sus variedades provienen del África (Acosta, 1992).

Fue introducida en Italia por los jardineros para usos ornamentales sin sospechar que harían una revolución culinaria, ya que pronto se hizo indispensable en la cocina italiana y francesa, mientras que en la India y Bélgica forma parte importante de los condimentos. En muchos países, entre ellos Cuba, Pakistán y Viet-nan, la utilizan con fines religiosos (Sánchez, 1980; Cabrera, 1997). Según Riambau (1998), también es muy usada en perfumería y en la fabricación de jabones.

La especie *Ocimum basilicum* L., ofrece diferentes variedades entre las que se encuentran: la variedad Citriodora (albahaca de limón), la Anisatum (albahaca de anís), la Minimum (albahaca fina), la Purpureum y las de hojas grandes muy aromáticas, llamada Grand basilic, entre otras.

La albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) de acuerdo con Acosta (1992); Alfonso (1995); Murillo y Viña (1999) contiene aceite esencial de composición variable en dependencia del cultivar, generalmente, contiene eugenol, linalool, alcanfor, además de taninos, ácidos orgánicos, sales minerales, saponinas y vitaminas, así como metilchavicol y metilcinamato (Krishna Moorthy, 1991).

Esta especie se puede cultivar por semillas y estacas durante todo el año, la cosecha debe realizarse siempre por debajo del 50% de la floración (Figueroa y

Lama, 2000), con uno, dos y hasta tres cortes, lo cual permite alcanzar rendimientos de 25 t ha⁻¹ (MINAGRI, 1995).

La albahaca puede sembrarse en suelos de fertilidad media, con buen drenaje (Figueroa y Lama, 2000) con conductividad eléctrica de hasta 4 ds.m⁻¹ sin que se afecten los rendimientos ni su desarrollo, por encima de este nivel, se afecta con pérdidas superiores al 60% (Borges *et al.*, 1998).

De acuerdo con Acosta (1992) entre las plagas reportadas en el cultivo se encuentran: el insecto *Asterolecomi-cem pustulans* ckll (guagua de pústulas), el hongo *Cercospora ocimicola* Petrak and ciffici y el hongo *Fusarium oxysporum* schelcht.

2.2. - Estado actual en la producción de las plantas medicinales

El cultivo de las plantas medicinales es un tema nuevo y poco practicado por los agricultores tradicionales. Existen algunos trabajos sobre el tema, pero la mayoría se refiere a las condiciones de cultivo y especies de otras regiones distintas de Iberoamérica (Muñoz-López, 1987) son muy pocos y de información limitada los que se refieren a las condiciones de la región iberoamericana (Girón y Cáceres, 1994).

Para la obtención de materiales de plantas medicinales existen dos fuentes en el mundo: plantas silvestres y plantas cultivadas.

Un estimado de entre 70-90% del material de plantas medicinales importado por Alemania es cosechado de forma silvestre y solo 50-100 especies son propagadas corrientemente a gran escala (Lange, 1996).

En China, el material extraído de áreas cultivadas es estimado entre 300 000 y 400 000 toneladas, mientras que en 1994 la demanda total de materiales de plantas medicinales fue de 1 600 000 toneladas. Las mejores partes de los materiales cosechados de forma silvestre son provenientes de los países desarrollados (Foster, 1994).

Entre los países que cultivan en gran escala las plantas medicinales se encuentran: Hungría, Polonia, India, China, España y Argentina.

Entre las principales áreas geográficas que exportan plantas medicinales a Alemania se encuentran, Europa, Asia, África y América, con cantidades en 1994 de 14, 7.7, 7.3, y 5 miles de toneladas, respectivamente.

2.2.1.- Principales países y regiones importadoras

A nivel mundial hay un flujo importante de plantas medicinales y fitofármacos. El continente europeo es uno de los más destacados, fundamentalmente, en las importaciones; mientras que las exportaciones están dominadas por China, con un volumen superior a las 300 000 toneladas por año.

Alemania: domina el comercio europeo en plantas medicinales y el mercado europeo de los fitofármacos, durante los últimos tres años, a partir del año 1996, se importaron anualmente 40 000 toneladas, con un valor de US\$ 109 millones (Lange, 1996) estos fueron exportados a un total de 109 países y se reexportó una tercera parte del material como productos finales, esencialmente, a Europa occidental y a los Estados Unidos.

América del Norte: otra importante región importadora de plantas medicinales. Las ventas al por menor de la industria de medicamentos de plantas medicinales en 1994 se estimó en 1,6 billones de dólares. El mercado de productos para la salud crece rápidamente y la demanda de materiales vegetales medicinales es significativa, principalmente, el material procede de Europa (Europa del Este) y Asia. En los últimos cinco años ha sido significativa la demanda en América del Norte de las hierbas de América Latina y del material procedente de la India y China.

Asia: los principales importadores en Asia son Hong Kong y Japón.

2.2.2.- Las plantas medicinales en Cuba

En Cuba existe un gran número de especies nativas de plantas medicinales y otro gran número introducidas y adaptadas, las que han pasado a formar parte de nuestra flora, algunas de ellas se clasifican como aromáticas y otras como condimentosas.

En general el número de estas especies es grande, se estima cercano a 8 000, aunque las más populares y utilizadas podrían formar un grupo de alrededor de 200 especies de las aproximadamente 1 600 que aparecen en el diccionario de plantas medicinales, aromáticas o venenosas de Cuba (Roig, 1975).

En el país se han utilizado con fines medicinales 657 especies (32 de las cuales son endémicas), agrupadas en 425 géneros de 124 familias, en el caso de la medicina veterinaria se han empleado 120 especies, agrupadas en 103 géneros de 53 familias (Fuentes, 1999). Los estudios realizados han podido detectar la presencia de 1170 especies (de ellas 97 son endémicas) agrupadas en 666 géneros de 172 familias, que se conocen o se le atribuyen propiedades medicinales. Para el caso de las condimentosas se conoce la existencia de 117 especies agrupadas en 83 géneros de 41 familias.

El cultivo de las plantas medicinales en Cuba está fomentado en 14 fincas provinciales y 136 módulos municipales, para un total de aproximadamente 700 ha de tierra dedicadas al cultivo. En el Programa Nacional de la Medicina Tradicional y Natural (PNMN) en 1997 se aprobó el número de especies que debían mantener las áreas de plantas medicinales del país, donde por ejemplo la albahaca debe ocupar el 1,5% del área en cada finca.

En el resumen anual del MINAGRI (1998) se presentó la demanda en kilogramos de plantas medicinales de los años 1993 hasta 1998 para las 14 Provincias del País, y sólo en la especie *Ocimum basilicum* L. (albahaca) en el 1998 fue de 1491 kg.

En los lineamientos para los subprogramas de la agricultura urbana para el año 2000 se planteó producir no menos de 1100 toneladas de plantas medicinales y condimentos secos, lográndose 2156.9 toneladas (Grupo Nacional de Agricultura Urbana, 2001) y hasta el 2002 se debe continuar desarrollando las plantas medicinales, aromáticas y condimenticias. Sánchez (1999) planteó que en 1997 se obtuvo 67 toneladas de condimentos y colorantes, ya en el 1998 se logró producir 152 toneladas y dentro del programa que se elaboró para el año 2003 se propuso producir no menos de 2600 toneladas.

Para las plantas medicinales y cualquier cultivo en general, se hace necesario establecer la agrotécnica más adecuada con el fin de lograr altos rendimientos con la calidad requerida.

La fertilización en el cultivo de las plantas medicinales debe ser lo más natural posible, mediante el uso de abonos orgánicos, como la pulpa de café, estiércol, abonos verdes, y subproductos de animales que fortalecen los ciclos naturales de los nutrientes del suelo (Barker, 1986). En cuanto al pH, los elementos N, P y S se asimilan mejor en suelos neutros, por lo que la mayor parte de las plantas crecen, se desarrollan y son más productivas en suelos neutros o ligeramente ácidos con pH de 6.5-7.0.

Entre los elementos del clima que deben tomarse en cuenta para que las plantas medicinales crezcan adecuadamente y libres de enfermedades se destacan: las precipitaciones, la luz y la temperatura.

La cosecha de las plantas medicinales se debe realizar de acuerdo con la parte que se utiliza, por ejemplo, las hojas en plantas con aceites esenciales se deben cosechar al inicio de la floración, en plantas con alcaloides durante la floración y en plantas con saponinas durante la maduración de los frutos, en luna creciente y por la mañana (Girón *et al.*, 2000).

2.3.- Aceites esenciales, usos y aplicaciones

Uno de los objetivos a lograr en las plantas medicinales con propiedades aromáticas es incrementar la concentración de los aceites esenciales. Las plantas medicinales experimentan cambios en esta concentración, debido a los efectos de algunas prácticas agrícolas, las condiciones ambientales y el estado de desarrollo de las mismas. No obstante, también se ha señalado que la concentración de aceites esenciales está directamente relacionado con el estrés hídrico, por lo que constituye éste uno de los efectos beneficiosos que provoca esta condición en las plantas (Kramer, 1983; Santa-Olalla y Valero, 1993; Baricevic, Maticic y Umeck, 1997).

En algunas especies de plantas medicinales se ha observado que a mayor altitud y a más bajas temperaturas, disminuye la riqueza en alcaloides (Ponce, 1993). De

acuerdo con los factores que influyen en la concentración de los aceites esenciales, el rendimiento de aceite y su composición química en este tipo de plantas es muy variable.

Polters (1994) señaló que la albahaca tiene una composición química variable, y los componentes de mayor concentración son los aceites esenciales superiores al 1%. En mayor proporción está el linalol en un 55% o el metilchavicol (estragol) en un 70% y en menor proporción el cineol, el geraniol, el alcanfor y el eugenol.

Cuando se evaluó la composición de aceites esenciales de plantas aromáticas del área del Mediterráneo se observaron grandes diferencias en la composición de estos aceites en los cultivos *Satureja montana* L. y *Thymus vulgaris* L. creciendo en dos años consecutivos; la *Salvia officinalis* L., *Foeniculum vulgare*, Mill y *Mentha piperita* L. cosechadas en diferentes estados de desarrollo, también manifestaron diferencias en los aceites debido a los diferentes cambios climáticos que suceden en la zona y del mismo modo se evidenciaron cambios en la composición básica de los aceites de diez muestras de *Ocimum basilicum* L y el genotipo de *S. montana* y *T. vulgaris* (Zollo *et al.*, 1998).

Murillo y Viña (1999) estudiando la composición química del aceite esencial de tres especies de albahaca: *Ocimum americanum*, *O. basilicum* y *O. minimum*, encontraron diferencias cualitativas y cuantitativas. Los extractos supercríticos contienen compuestos de alto masa molar, entre ellos ésteres de linalol, presente en *O. basilicum* y *O. minimum*, en las tres especies se encontró cinamato de metilo, el cual fue el compuesto más abundante en todos los extractos.

Los rendimientos de aceites esenciales de las partes aéreas secadas al aire de *Ocimum gratissimum*, *Ocimum minimum*, y *Ocimum canum* obtenido por hidrodestilación fue de 1.59%; 1.03% y 0.84%, respectivamente (Martins *et al.*, 1999) se identificaron 66 compuestos en total con un porcentaje de aceites esenciales que estuvo en un rango de 97- 100%.

El aceite obtenido de plantas de *Ocimum gratissimum* L, nativas e introducidas, estaba compuesto por timol, eugenol y linalol (Yusuf *et al.*, 1998) con un contenido de estos aceites de 58.2, 66.5 y 18.9 %, respectivamente.

Alcoholes y óxidos (> 40%) fueron los compuestos más abundantes obtenidos por hidrodestilación de aceites esenciales en varias plantas medicinales, entre las que se encontraron: *Ocimum basilicum* L, *Ocimum canum* L y *Ocimum gratissimum* L (Zollo *et al.*, 1998). En el caso de hojas de *Ocimum basilicum*, se alcanzaron rendimientos de 13.5% de compuestos aromáticos y presentaron actividad antifúngica los aceites esenciales de *O.gratissimum* y *O. basilicum*.

En hojas e inflorescencias de *O. canum*, se encontró como principal componente el terpeno 1-4 (21-30%) aunque el porcentaje de composición de este aceite varió en dependencia del momento de cosecha. Los componentes más importantes fueron el linalol (17-19%) y δ - terpeno (7-11%) según Sanda *et al.* (1998).

2.3.1.- La albahaca en la medicina y en la Agricultura

De acuerdo con Paredes (1998), las plantas aromáticas son cultivadas con los objetivos siguientes: uso en la medicina natural, para prevenir el ataque de plagas y enfermedades, para materia prima de insecticidas y funguicidas, y para atraer a los insectos polinizadores e ingresos económicos.

El empleo medicinal de las plantas es casi tan antiguo como el hombre y fueron los chinos (2000 años ac) los primeros en difundir de forma escrita sus usos y virtudes, después egipcios, griegos y otros pueblos fueron ahondando en estos conocimientos (Pacheco, 1992).

La albahaca, de acuerdo con Ferrandiz (1974) es útil para combatir los resfriados, favorece la lactancia materna, tiene acción estimulante y estomacal, es empleada también para uretritis gonocócica y la cistitis. Tiene propiedades terapéuticas y antisépticas, además de ser usada para la bronquitis (Ranaje, 1991; Ponce, 1993). Según Hernández (1991), se emplea en enfermedades tales como trastornos digestivos y tos, es usada como antiespasmódica y estimulante, disminuye los gases intestinales, regula la menstruación, también es empleada para la diarrea y vómitos, además de servir como antiparasitario y antimicrobiano. Al probarse distintas especies del género *Ocimum* (entre las que se encontraba *O. basilicum* y algunos de sus constituyentes de su aceite esencial en condiciones de laboratorio) contra bacterias gram positivas y gram negativas y hongos (Sinha y

Gulati, 1991) se encontró que el aceite esencial de *O. basilicum* fue efectivo contra *Pseudomona sp.*, atribuyendo su actividad a los principales constituyentes: linalol y metil chavicol, también fueron moderadamente efectivos contra *Staphylococcus aureus*.

En la agricultura, plantas como la albahaca, son empleadas de forma alternativa para proteger cultivos de gran importancia económica contra plagas y enfermedades, lo que constituye una vía ecológica y económica de elevada efectividad que no contamina el agroecosistema (Paredes, 1998; Rodríguez, 1999), así por ejemplo, sus extractos pueden ser usados contra *Pyricularia grisea* y *Rhizoctonia solani*, dos hongos que causan grandes daños en el cultivo del arroz.

Las plantas de albahaca tienen propiedades como atrayentes de insectos polinizadores (Paredes, 1998) repelentes, insecticidas, acaricidas e inhibidor del crecimiento (Mejía, 1995; Hernández, 2000) por lo que controla áfidos, polillas, arañas y moscas entre otras, pudiendo usarse también en mezcla con hierba buena (*Mentha viridis*), orégano (*Origanum vulgare*), apazote (*Chenopodium ambrosioides*) y salvia (*Salvia officinalis*). Al asociarse esta planta con pepino (*Cucumis sativus*), promueve su fecundación, ya que atrae a las abejas y además protege al pepino del ataque del Mildiu (Hernández, 2000).

2.4.- Fenología de los cultivos

El período de crecimiento de un cultivo está en dependencia de la cantidad de días durante el cual existe humedad y temperaturas favorables para un normal desarrollo del mismo, de ahí que se necesite enmarcar los diferentes estadios de desarrollo de cada cultivo en específico, para cada región.

El estudio de la fenología de los cultivos de importancia económica ha sido preocupación de muchos investigadores. De acuerdo con Ascencio *et al.* (1991), la mayoría de los modelos de predicción de fenología de los cultivos son generalmente clasificados como: estadísticos y fisiológicos, donde los estadísticos son los más usados. Así por ejemplo, Usma *et al.* (1996) elaboraron fenogramas comparando observaciones fenológicas con datos de precipitación media anual

para una mejor comprensión del desarrollo del cultivo de la palma (*Astrocaryum standleyanum*).

La duración de las fases fenológicas de un cultivo avalado por el número de días varía bastante entre regiones, años y fechas de siembras, dada las condiciones variables del clima, así como, el conocimiento de la fenología de los cultivos económicos, permite delimitar las etapas o fases de crecimiento y desarrollo de los mismos para la realización de las actividades fitotécnicas en los momentos de máximas exigencias, para obtener los mayores rendimientos (Souza, 1995).

Fernández (1995), señaló la importancia de conocer las diferentes fases de desarrollo de los cultivos, pues permite, tanto al investigador como al productor, proceder de forma más práctica en la ejecución de actividades fitotécnicas en los momentos de máxima eficiencia para lograr los mayores rendimientos.

De acuerdo con Usma (1996) los estudios fenológicos ayudan a entender las interacciones planta-animal, como la polinización y la dispersión de semillas, así como servir de base para trabajos de propagación.

La determinación de las fases fenológicas de las plantas medicinales con propiedades aromáticas, es de gran importancia ya que el contenido de principio activo, según Fuentes (1988), sufre procesos de transformación y acumulación en la planta que pueden tener no solo un ritmo anual o estacional, sino incluso diario, altamente influenciado por elementos del clima tales como: temperatura, precipitaciones y luz.

2.5.- Necesidades hídricas de las plantas

La vida está íntimamente asociada al agua, muy especialmente a su estado líquido, y su importancia para los seres vivos es consecuencia de sus propiedades físicas y químicas exclusivas (Novel, 1991 y Galego, 1998). EL agua en su forma líquida permite la difusión y el flujo masivo de solutos, siendo por esta razón esencial para el transporte y distribución de nutrientes y metabolitos en toda la planta. También es importante en las vacuolas de las células vegetales ya que ejerce presión sobre el protoplasma y pared celular, manteniendo así la turgencia en hojas, raíces y otros órganos de la planta. Con excepción de algunos tipos de

semillas y unas pocas especies vegetales, la deshidratación de los tejidos por debajo de un nivel crítico, se acompaña de cambios irreversibles en la estructura y finalmente de la muerte de la planta (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 1993).

El agua es el componente mayoritario en la planta (aproximadamente un 80 a 90% de la masa fresca de las plantas herbáceas y más del 50% de la plantas leñosas), ésta influye directa o indirectamente en la mayoría de los procesos fisiológicos. Por eso, en gran medida la fisiología vegetal es el estudio de las relaciones hídricas (Galego, 1998).

El desarrollo de la agricultura en condiciones de bajos insumos, presupone el estudio de diferentes alternativas de producción, en los que el manejo del agua, resulta un aspecto de gran interés por varias razones: es un recurso natural finito (Girona, 1995) es decir, las reservas hay que explotarlas con precaución, por lo que es necesario estudiar el abastecimiento óptimo de agua al suelo que permita obtener producciones elevadas con pocos gastos de este líquido.

Una de las contribuciones importantes a las relaciones hídricas en plantas es el estudio del movimiento del agua desde el suelo hasta las raíces y a través de la planta hasta el aire como una serie de procesos muy relacionados. Este es el llamado continuo suelo-planta-atmósfera.

El modelo CSPA (Continuo-Suelo-Planta-Atmósfera) es posiblemente la propuesta más utilizada para explicar los procesos de control y movimiento del agua en las plantas, además, de las conductas de los estomas en función del grado del déficit hídrico a que está sometida la planta (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995). Asimismo, intenta explicar el crecimiento frente al estrés hídrico, utilizando las variables relacionadas con este proceso: potencial hídrico y conductancia estomática.

En el suelo los gradientes del potencial matricial (Ψ_m) son generalmente las fuerzas impulsoras del transporte de agua, mientras que la conductividad hidráulica es la resistencia principal. En la planta, son el potencial osmótico (Ψ_s) y el de presión (Ψ_p) los que contribuyen a este tipo de fuerzas. La resistencia viene dada por el grado de hidratación de los tejidos conductores.

Una vez que el agua llega a las raíces, ésta se mueve a través del vegetal alcanzando las hojas, para ello sigue toda una serie de conductos especializados

que constituyen el xilema. Estos proporcionan y configuran una vía de menor resistencia al transporte del agua que las vías del simplasto o el apoplasto (Galego, 1998).

Parece estar claro que las fuerzas causantes del movimiento son las de tensión originadas por el gran flujo de masa generado en la transpiración y ocasionalmente, por la presión radical cuando la planta transpira muy lentamente. Por tanto, la difusión depende del gradiente de potencial hídrico. Este gradiente aumenta al aumentar el potencial de agua en el suelo.

En estudios sobre la influencia de la humedad del suelo en el crecimiento de las plantas, se ha podido concluir que ésta no es determinante para producir rendimientos aceptables, siendo el contenido de agua en las hojas y los tejidos del vegetal el aspecto más importante (Polón *et al.*, 1995).

En los estudios más recientes de las necesidades de agua para los cultivos se ha empleado la metodología del riego deficitario controlado (Trimmer, 1990; Jurriens; Wester, 1994 y Domingo *et al.*, 1997) la misma consiste en disminuir las cantidades de agua a aplicar al cultivo en cuestión en los momentos de su ciclo en que menos falta le haga (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

La utilización de la estrategia de riego deficitario, elaborada en estrecha relación con la fisiología del cultivo, puede constituir una esperanzadora alternativa para reducir los aportes hídricos con mínimos efectos en la cosecha (Sánchez- Blanco y Torrecillas, 1995).

En ensayos realizados en almendro (Girona, 1992) mediante la utilización del riego deficitario controlado frente al control regado al 100% de la evapotranspiración, se consiguió un ahorro de agua del 62% sin afectar la producción ni la calidad de la almendra. (Domingo, 1994) en limonero fino logró un ahorro de agua del 30% sin disminuir la producción.

2.6.- Relaciones hídricas en condiciones de estrés hídrico

En los tiempos actuales se desarrollan cambios a escala mundial en el comportamiento de fenómenos y procesos meteorológicos, los que constituyen en la mayoría de los casos, condiciones de estrés para el desarrollo de las plantas.

Los mismos ya están teniendo incidencia en Cuba y se reflejan en variaciones en el clima que provocan condiciones de sequía, inundaciones, altas o bajas temperaturas, incremento de zonas salinas, sobre todo en el sur del país, etc. Ante estas situaciones es necesario conocer el comportamiento de las diferentes especies con el objetivo fundamental de que los rendimientos no se vean afectados.

A partir de la década del 80 en el país comenzaron a desarrollarse trabajos relacionados con la temática de la influencia de distintos estrés sobre cultivos de interés agrícola y por otra parte en aras de buscar variables fisiológicas y bioquímicas relacionadas con el grado de tolerancia de distintos cultivares a esa condición adversa (Balbín, 1989; Jerez, 1991; Dell'Amico, 1992). De los resultados obtenidos se pudo constatar que las cantidades de agua aplicadas a algunos de los cultivos en estudio era excesiva y que podían disminuirse sin que se afectaran los rendimientos, todo lo cual posibilita la realización de estudios encaminados al aumento de la eficiencia y del ahorro del agua (Galego, 1998).

En la mayoría de los casos los efectos de un bajo contenido de humedad en el suelo pueden hacerse más severos bajo ciertas condiciones atmosféricas, como baja humedad, alta temperatura y velocidad del viento (Santa Olalla y Valero, 1993). Hay evidencias claras de que el estrés hídrico puede llegar a reducir la eficiencia de la utilización del agua y se ha comprobado que existe un nivel de humedad en el suelo óptimo para un valor máximo de la eficiencia en la utilización del agua.

Por la importancia que juega el agua en la vida del vegetal se analizan algunos de los factores que pueden provocar el estrés de sequía. La sequedad (Barceló *et al.*, 1998) es sin dudas la condición ambiental transitoria y extrema a que con más frecuencias se ven sometidas las plantas.

Según Hounam (1970) la intensidad de la sequía es la discrepancia entre la demanda de agua por las plantas y la humedad disponible en el suelo. La demanda de agua depende de las condiciones meteorológicas, las características de las plantas, la etapa de desarrollo y la disponibilidad de agua en el suelo.

El estrés de sequía puede tener varios lugares de acción en la célula vegetal como: las membranas y el núcleo que constituyen puntos claves, la pared celular y los cloroplastos. También pueden afectarse procesos fisiológicos e incluso bioquímicos que implican fuertes afectaciones metabólicas que ocasionan reducciones del crecimiento, daños primarios sobre la pared celular, la integridad de las membranas, la cadena de transporte de electrones y la actividad enzimática (Iglesias, 1994).

Según De Souza, Giles y Neto (1984) puede haber una disminución en la fotosíntesis neta hasta un 90% cuando las hojas están muy marchitas, mientras que Lloyd, Daniel y Rose (1999) plantearon que ante un estrés hídrico severo la fotosíntesis se ve limitada por el cierre de los estomas.

El incremento del déficit hídrico trae consigo una disminución paralela de la actividad fotosintética y la tasa de transpiración (Radin *et al.*, 1988). La mayor capacidad de obtención de agua de algunos genotipos está dada por el crecimiento del sistema de raíces o por su capacidad osmorreguladora y son estas características las que garantizan un mejor comportamiento fotosintético. La principal limitante de la actividad fotosintética en condiciones de estrés está dada por el cierre estomático (reducción del CO₂ subestomático) y esto se puede comprobar cuando se relaciona la fotosíntesis con la conductancia estomática (López, Leidi y Gutiérrez, 1993).

El estrés hídrico también es responsable del incremento de sustancias en el vegetal, sobre todo prolina (Hare, Cress y Vanstaden, 1998). En cultivares de trigo el contenido de prolina en las hojas se incrementó con la duración e intensidad del estrés, aunque no hubo correlación entre el contenido de prolina y la resistencia a la sequía (Wang, Huang y Wang, 1989). En condiciones de invernadero hubo grandes incrementos de la concentración de prolina por el efecto del estrés; aunque (Barker, 1992) también observó este incremento en condiciones de campo.

Según Skuruvodi y Aguilera (1990) hay dos características muy importantes de las plantas para una mejor adaptación a las condiciones de sequía: óptimo sistema de raíces con profusas ramificaciones y alta tasa de crecimiento vertical y horizontal

para facilitar la absorción de una adecuada cantidad de agua y nutrientes, además, la conservación del agua en la planta a través de una óptima área de follaje, la pubescencia, el enrollamiento de la hoja, la gruesa capa de cutina, el secamiento de las hojas viejas y tallos no productivos. El agua ahorrada a través de estos procesos fisiológicos puede ser utilizada por la planta durante los períodos de producción incrementando así la misma.

La sequía es responsable de serias afectaciones del metabolismo vegetal, pues se ven afectadas las producciones de algunas fitohormonas, la acumulación de sacarosa en las células, se detiene la síntesis de proteínas, se disminuye la producción de ATP, se incrementa la actividad respiratoria y se reducen los productos fotosintetizados, trayendo como tal un incremento en los inhibidores del crecimiento y por tanto una disminución notable del crecimiento y la producción (Azcón-Bieto y Talón, 2001).

Ortega, Pardo y Gonzáles (1984) trabajando con caña de azúcar determinaron afectaciones considerables en la actividad nitrato reductasa provocando acumulación de NO_3^- , además de, encontrar marcados incrementos de prolina libre en las hojas y disminución considerable de las proteínas solubles.

Los valores del potencial hídrico medido al medio día (ψ_{md}) por lo general son menores que los del potencial hídrico medido al alba (ψ_a) debido a la mayor dependencia del ψ_{md} de las condiciones ambientales (Torrecillas *et al.*, 1988) de hecho, existe una estrecha relación entre el ψ_a y el contenido de agua en el suelo, lo que indica que los valores de potencial hídrico foliar tomados antes del alba son más adecuados para determinar el estado hídrico de las plantas, ya que en ese momento existe un equilibrio hídrico entre ésta y el suelo (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995).

La disminución del potencial del xilema al mediodía en olivo durante el invierno no parece estar relacionado con las bajas temperaturas del suelo, sino con otros factores no determinados (Ferrerres, Moriana y Ruz, 1998). Es posible que el crecimiento y la renovación del sistema radical estén drásticamente reducidos en invierno lo cual provocaría un gran desfase entre la absorción y la transpiración

dando lugar a una disminución en el ψ y a un cierre estomático a pesar del buen suministro hídrico en esa época.

De acuerdo con Barceló *et al.* (1998) los ciclos diarios de potencial hídrico en el cultivo de la vid muestran un efecto significativo del riego, donde al amanecer, en vides regadas el potencial hídrico foliar se mantuvo en torno a -0.1MPa ; mientras que, en plantas no regadas descendió hasta los -0.31MPa . Estos mismos autores a través de la curva presión-volumen encontraron que el potencial osmótico, tanto a plena turgencia como a turgencia cero, fue en general más negativo en hojas adultas.

Abadia *et al.* (1998) concluyeron que los valores del potencial hídrico son más bajos cuando disminuye el aporte de agua y aumenta la edad de la planta. En el cultivo del tomate, las variaciones diarias del potencial hídrico, se debieron fundamentalmente a cambios en la demanda evaporativa de la atmósfera, coincidiendo los niveles de potencial más elevados con las horas de mayor evapotranspiración.

Bajos contenidos de humedad en el suelo reducen la disponibilidad de agua, lo que conduce a reducciones del potencial hídrico y de la conductancia estomática (Castel y Buj, 1994; Savé *et al.*, 1995) lo que a su vez implica en general, reducciones del potencial de presión y de la transpiración, factores íntimamente asociados con los procesos de crecimiento y producción. El potencial hídrico y la conductancia estomática se afectan no solo por las condiciones de humedad en el suelo, sino también por una multiplicidad de factores (Jones, Lakso y Syvertsen, 1985) de esta forma el potencial hídrico depende de la demanda evaporativa del ambiente, de la conductancia estomática, de la resistencia al flujo de agua, etc, mientras que la conductancia estomática depende de la temperatura, el potencial hídrico, intensidad luminosa, gradiente de humedad absoluta hoja-aire y de la edad de la hoja, entre otros.

Osvald y Osvald (1991) expusieron que plantas de sorgo sometidas a períodos de sequía durante su crecimiento mostraron una polinización pobre por lo que repercute en una cosecha tardía y en bajos rendimientos.

Las variables hídricas foliares en el cultivo del melocotón resultaron sensible a las deficiencias de agua y en el caso particular del potencial hídrico, disminuyó progresivamente hasta alcanzar valores de -0.8 MPa en el riego deficitario controlado regado al 25% de la evapotranspiración (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995).

El déficit hídrico también puede ser causado de forma indirecta por exceso de humedad en el suelo, como ha sido informado por Dell'Amico *et al.* (1999); Pérez, Dell'Amico y Reynaldo (1999). Estos mismos autores informaron afectaciones en el potencial hídrico y la conductancia estomática en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*), cuando fue sometido a condiciones de hipoxia.

2.6.1.- Relaciones presión-volumen (P-V)

Una ventaja de la técnica de la cámara de presión es que no solo mide rápidamente el potencial hídrico sino que también se puede utilizar para medir la relación presión-volumen del tejido vegetal. Las curvas presión-volumen (P-V) representan la relación entre el potencial hídrico y el contenido de agua de los tejidos.

Uno de los procedimientos para la determinación de las curvas (P-V) es la "libre deshidratación" (Turner, 1988). Las hojas rehidratadas y turgentes se le toman sus masas y se le determina la presión de equilibrio, luego se deja transpirar libremente. El proceso se repite con sucesivas medidas de masa fresca y correspondientes potenciales hídricos. Los incrementos de agua perdida se deducen por las determinaciones de las masas de las hojas y se finaliza con la determinación de la masa seca de la muestra, al graficar el inverso del potencial hídrico contra el contenido relativo de agua se construye la curva.

Los puntos representados en la curva presión-volumen se ajustan a una hipérbola, donde la primera sección representa la relación que se da en células turgentes y la segunda sección (lineal) representa la relación para células que han perdido la turgencia.

De esta curva (P-V) se pueden determinar los indicadores: Potencial osmótico a máxima turgencia y en el punto de pérdida de turgencia, el contenido relativo de

agua en el punto de pérdida de turgencia, el potencial de turgencia y el contenido relativo de agua apoplástica entre otros.

2.7.- Crecimiento y desarrollo en condiciones de deficiencia hídrica

El desarrollo constituye el conjunto de eventos que contribuyen a la progresiva elaboración del cuerpo de la planta y que la capacitan para obtener alimento, reproducirse y adaptarse plenamente a su ambiente. El desarrollo comprende dos procesos básicos: crecimiento y diferenciación (Azcón-Bieto y Talón, 2001).

El crecimiento constituye un aumento irreversible del tamaño del vegetal asociado generalmente a un incremento de la masa seca, señalado de forma coincidente por todos los autores (Torres, 1985). Denota los cambios cuantitativos que tienen lugar durante el desarrollo, mientras que la diferenciación se refiere a los cambios cualitativos.

El mantenimiento de la turgencia en las plantas mesofíticas se considera el factor más importante y condicionante para que se lleven a cabo los procesos fisiológicos esenciales como crecimiento, división celular, apertura estomática y fotosíntesis (Hsiao, 1990) lo que implica conocer el comportamiento del crecimiento de las plantas cuando están sometidas a condiciones estresantes por deficiencias hídricas.

En la historia de la agricultura se conoce que el déficit hídrico en el suelo constituye un factor limitante de gran importancia para la producción (Martín *et al.*, 1996) esta limitante puede influir de forma directa o indirecta sobre el crecimiento y desarrollo del vegetal, afectando algunos procesos fisiológicos y el estado de hidratación de las plantas. Además, disminuye la conductancia estomática al propiciar el cierre de los estomas y por tanto la fijación de CO₂, afectándose notablemente el rendimiento (Hsiao y Bradford, 1983).

El déficit hídrico, según Kramer (1983) afecta muchos procesos anatómicos, morfológicos, fisiológicos y bioquímicos en alguna etapa del crecimiento y desarrollo de las plantas, una pérdida de la turgencia en los tejidos de las plantas de un 10-15%, debido a una reducción del potencial de agua, puede provocar los siguientes efectos: concentración de macro moléculas y solutos de bajo masa

molar, reducción de la presión de turgencia de las células y cambios en las relaciones espaciales de las membranas y organelos debido a la reducción del volumen celular.

Señalaron Gu y Shen (1990); Moreno (1991) que el primer efecto medible como resultado de someter las plantas al estrés de humedad resulta en la mayoría de los casos una reducción del crecimiento producida por la inhibición del alargamiento celular y en consecuencia, en el crecimiento de la raíz y de los brotes (Salisbury y Ross, 1994) lo que está dado por el grado de turgencia que tienen las células en estas condiciones.

La magnitud del déficit hídrico necesario para afectar el crecimiento de un cultivo depende en gran medida del tiempo en que éste ocurra y de las condiciones en que las plantas sean cultivadas (Nuñez, 1996). Así por ejemplo, la tasa de crecimiento de hojas de maíz cultivadas en macetas disminuye considerablemente de potenciales hídricos de -0,2 MPa hasta -0,7 y -0,9 MPa, mientras que el agua disponible en el suelo puede disminuir hasta un 20% antes de influir en el crecimiento de cualquier órgano.

Coolbear y Megill (1990) señalaron que la restricción del agua al cultivo del tomate reduce el crecimiento vegetativo produciendo un mayor crecimiento generativo, reduce la producción de materia seca y los rendimientos (Boicet, 1999) provoca el abarquillamiento de las hojas, la caída de las flores y el aumento del sabor picante, disminuyendo también el tamaño de los frutos (Niorse, 1987).

En plantas cultivadas el déficit hídrico produce un efecto deprimente sobre el crecimiento y producción, su alcance está en dependencia del grado de desarrollo en el cual se presente. De presentarse en la etapa de floración éste puede disminuir la intensidad de la misma debido a que ocurre el cierre estomático y como consecuencia directa hay un bloqueo de la fotosíntesis, esto provoca una mala polinización debido a la baja fertilidad del polen, hay una aceleración de la senescencia de las hojas, teniendo una corta duración y por tanto hay un mal llenado de los frutos con la consiguiente afectación del rendimiento (Hsiao y Breadford, 1983).

2.7. 1.- Las plantas medicinales en condiciones de estrés hídrico

Las plantas medicinales al igual que el resto de las plantas cultivadas sufren severas afectaciones cuando están sometidas a estrés hídrico, sin embargo, de acuerdo con la literatura, las que tienen propiedades aromáticas les resulta hasta cierto punto beneficioso debido a que en estas condiciones tienden a incrementar sus aceites esenciales.

Las labandas, especies de la familia Labiadas, presentaron ajuste osmótico temporal en los momentos de menor aporte de agua y mayor demanda evaporativa del ambiente (Biel, De Herrade y Savé, 1998) mientras que el romero no mostró variaciones del potencial osmótico, ambas especies mostraron mecanismos de evitación al estrés como son: reducción del área foliar, disposición vertical de las hojas y baja transpiración cuticular.

En plantas como la *Atropa belladonna* L., *Hgnyamus mulicus* L. y *Datura stramonium* L., el déficit hídrico aumenta la concentración de alcaloides, aunque hay referencias de reducciones de la concentración de estos compuestos químicos en *Cinchona ledgeriana* L. (Santa Olalla y Valero, 1993) quizás porque la condición de estrés impuesta fue muy severa.

El efecto negativo que causa el estrés hídrico en los vegetales ha sido ampliamente difundido, sin embargo, resulta interesante en las plantas aromáticas con fines medicinales y de la industria de perfumería y cosméticos, someterlas a condiciones de estrés para buscar incrementos en los aceites esenciales, de forma que se obtengan los más altos rendimientos sin sacrificar la producción de biomasa.

En Cuba existen pocos estudios dedicados al comportamiento de las plantas medicinales en condiciones de estrés hídrico, por ello es importante realizar trabajos de investigación en esta temática, para incrementar los conocimientos sobre este aspecto.

2.8.-Mecanismos de resistencia al estrés hídrico

Bajo condiciones de estrés hídrico las plantas han desarrollado diferentes mecanismos que inducen la tolerancia ante ésta condición, se pueden citar como

fundamentales según Tadeo (2001): la profundidad y ramificación del sistema de raíces, grosor y posición de las hojas, cantidad y movimiento de los estomas, características de la plasmólisis, grosor de la cutícula, contenido de cera y la superficie del aparato foliar. Fisiólogos y mejoradores han acometido el estudio de los mismos y coinciden en señalar que un conjunto de caracteres morfológicos determinan el grado de tolerancia de las plantas a la deficiencia de agua.

De acuerdo con Turner y Kramer (1983) las plantas que evaden la deshidratación lo hacen por la reducción de las pérdidas de agua (por un incremento de la resistencia estomática y cuticular, reducción de la superficie foliar y la radiación absorbida) y manteniendo una elevada absorción de agua (incrementando la densidad y la profundidad del sistema radical). Las que toleran la desecación, lo hacen manteniendo la turgencia (a través del ajuste osmótico, cambios en la elasticidad de la pared celular y del tamaño de las células) y por la habilidad del protoplasma de soportar la desecación (Nguyen y Joshi, 1992).

Según Blum (1982) los dos componentes de la tolerancia a la sequía son: evitación de la desecación (habilidad que tienen las plantas para mantener un elevado nivel hídrico o turgente bajo condiciones de un incremento del déficit hídrico del suelo) y tolerancia a la deshidratación (nivel decreciente del estado hídrico o de la turgencia) independientemente al grupo que pertenezcan. Es destacable a nivel celular el ajuste osmótico y a nivel de la planta completa, el sistema radical, grosor de la cutícula y es también importante el número de estomas en la zona adaxial. Señala Rojas, Rocío y María (1983) que el menor número de estomas en esa zona estuvo asociado a variedades resistentes a la sequía.

Jones, Turner y Osmond (1981) plantearon que las plantas tienen una serie de respuestas llamadas mecanismos de resistencia a la sequía por medio de los cuales sobreviven períodos con déficit de agua, dentro de estos mecanismos se encuentran la reducción de la pérdida de agua, debido a la resistencia estomática, reducción de la absorción de radiación, debido a los cambios en la orientación de las hojas o reducción de la superficie foliar, incremento en la absorción de agua motivado por el desarrollo radical o por incremento en la conductividad de la raíz,

mantenimiento de la turgencia debido al ajuste osmótico o a un incremento en la estabilidad celular.

En situaciones de estrés hídrico, las hojas del almendro se sitúan paralelamente a los rayos solares, existiendo una estrecha relación entre este movimiento y el potencial hídrico foliar, la resistencia estomática y el contenido hídrico del suelo (Sánchez Blanco *et al.*, 1993).

Según Ludlow y Muchow (1990) el ajuste osmótico, es la disminución del potencial osmótico por incremento neto de solutos intracelulares, este mecanismo ha sido ampliamente estudiado dado que no todas las especies son capaces de realizarlo. Entre los solutos más conocidos que las plantas emplean en el proceso de osmorregulación se encuentran la prolina y la glicina betaina, cuya acumulación intracelular reducen la actividad hídrica del citoplasma (Verma, Hu y Delauney, 1992). El ajuste osmótico constituye un sistema altamente integrado y complejo de adaptación al déficit hídrico; pero el mismo depende de la velocidad de disminución del potencial hídrico. De acuerdo con Moons (1988) la importancia del ajuste osmótico está dado porque éste es un mecanismo de adaptación para el estrés y no para el crecimiento durante el estrés, aspecto que actualmente ha sido más esclarecido por otros investigadores, tales como Hare, Cress y Vanstanden (1998); Shaungguan, Shao y Dyckmans (1999).

Otro de los mecanismos de importancia que pueden desarrollar las plantas en presencia de un déficit hídrico es el ajuste elástico; Turner (1986) expresó que para mantener el volumen celular en la región de turgencia durante un déficit hídrico creciente, la elasticidad debe disminuir, pero una elasticidad alta es importante para evitar daños mecánicos al protoplasto cuando el contenido hídrico está por debajo del punto de pérdida de turgencia.

2.9.- Consideraciones generales del capítulo

Las especies vegetales con propiedades medicinales constituyen un grupo importantes de plantas, que si bien en algunas regiones han sido ampliamente estudiadas, en Cuba, aunque si se les ha prestado alguna atención, aun son limitados los conocimientos que se tienen en la mayoría de ellas en aspectos

relacionados con su Fisiología en general y más escasos todavía en aspectos específicos como las relaciones hídricas de las plantas, de ahí que la información que se tiene con respecto a la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es casi nula, a pesar de la importancia que tienen sus aceites en la medicina y en otras ramas.

Debido a que el crecimiento resulta en primera instancia afectado por deficiencia hídrica en el suelo, el manejo de una adecuada humedad en la fase fenológica más exigente a los requerimientos de agua, propiciará obtener rendimientos aceptables de masa fresca en esta especie y a la vez un ahorro de agua. Sin embargo, resulta satisfactorio someter las plantas a condiciones de estrés hídrico con el propósito de incrementar la concentración de sus aceites, pero teniendo en cuenta que no se afecte la eficiencia de producción de biomasa.

En condiciones de estrés por deficiencia de agua en el suelo, las relaciones hídricas sufren alteraciones que se manifiestan en el comportamiento de las diferentes variables que expresan el estado hídrico de las plantas, las cuales en su gran mayoría pueden ser determinadas con más exactitud a través del estudio de las curvas presión-volumen, las que resultan un método práctico y preciso para conocer además, los mecanismos de respuestas que pudieran presentar las plantas sometidas a deficiencia de agua.

3. - Materiales y Métodos

3. 1. -Aspectos generales

Para darle cumplimiento a los objetivos propuestos se ejecutaron tres grupos de experimentos que consistieron en: estudio de la fenología de la albahaca blanca en dos fechas de siembra con condiciones climáticas diferentes, crecimiento y desarrollo de la albahaca en función de los niveles de humedad en el sustrato y mecanismos fisiológicos de respuestas de la albahaca en función del estado hídrico de las plantas; en los que se utilizaron semillas de albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) de la variedad Genovesa, sembradas en un sustrato compuesto por suelo Ferralítico Rojo compactado, según el mapa 1:25000 de la Dirección Nacional de Suelos, que se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado éutrico, según Hernández *et al.* (1999) y materia orgánica del tipo cachaza en una relación 3:1 v/v con las características físicas y químicas que aparecen en la tabla 1 (Anexos).

Los experimentos: estudio de la fenología del cultivo y aplicación de agua a partir de porcentajes fijos del balance evaporación-precipitación (3.2 y 3.3.1) se realizaron en canteros con bordes de hormigón de 2.55 m de largo x 0.64 m de ancho x 0.54 m de profundidad y los restantes experimentos se desarrollaron bajo techo de polietileno transparente para evitar el efecto de las precipitaciones (Foto 1, anexos). Las plantas crecieron de forma individual en macetas de seis litros, con un diámetro superior de 21.5 cm, un diámetro inferior de 15 cm y una altura de 21.5 cm.

En los experimentos realizados en canteros se empleó un diseño Muestral y dentro de estos la selección de las plantas se realizó al azar, en el resto de los experimentos los tratamientos fueron distribuidos mediante un diseño experimental Completamente Aleatorizado.

3.2.-Estudio de la fenología de la albahaca blanca en dos fechas de siembra con condiciones climáticas diferentes

El experimento para evaluar la fenología del cultivo consistió en realizar dos siembras en condiciones no controladas, una en el mes de enero y la otra en el

mes de abril del año 1998. En ambos casos se tomaron 20 plantas para realizar las observaciones de la emisión de las plantas a la superficie del sustrato, la aparición de los distintos pares de hojas en el tallo, la caída de las hojas cotiledonales, la emisión de los diferentes brotes en el tallo, la aparición de la inflorescencia en el tallo y en las ramas laterales y finalmente el inicio de la senescencia en el primer par de hojas del tallo central. Con estas observaciones se establecieron las distintas fases fenológicas del cultivo, tales como:

- A- Siembra-Emergencia a la superficie del sustrato: días transcurridos hasta que el 70% de las plantas emergen a la superficie del sustrato.
- B- Emisión del primer par de hojas verdaderas: días transcurridos desde la emergencia a la superficie del sustrato hasta que el 70% de las plantas establecidas emitieron el primer par de hojas.
- C- Emisión del primer par de brotes axilares: días transcurridos desde la emisión del primer par de hojas verdaderas hasta que el 70% de las plantas emitieron el primer par de brotes.
- D- Aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo: días transcurridos desde la emisión del primer par de brotes axilares hasta que el 70% de las plantas emitieron la inflorescencia en el tallo (Foto 2, anexos).
- E- Aparición de las inflorescencias laterales: días transcurridos desde la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo hasta que el 70% de las plantas emitieron la inflorescencia en las ramas laterales (Foto 2, anexos).
- F- Inicio de la senescencia del primer par de hojas en el tallo central: días transcurridos desde la aparición de las inflorescencias laterales hasta que el 70% de las plantas mostraron su primer par de hojas verdaderas cloróticas (Foto 3, anexos).

Se empleó una distancia de siembra de 0.20 x 0.10 m con la que se logró una densidad de 50 plantas m⁻². El riego se aplicó diariamente hasta la máxima capacidad de retención de humedad para mantener el sustrato en óptimas condiciones. Las variables meteorológicas (temperatura y humedad relativa) fueron tomadas de la Estación Meteorológica de Tapaste a 200 metros del área experimental (Tabla 3, anexos).

3.3.- Crecimiento y desarrollo de la albahaca en función de los niveles de humedad en el sustrato

Se realizaron dos experimentos con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes niveles de humedad en el sustrato en el crecimiento y el desarrollo de las plantas de albahaca blanca.

3.3.1 – Aplicación de agua a partir de porcentajes fijos del balance evaporación-precipitación

Se desarrolló un experimento con siembras en el mes de enero de los años 1998 y 1999 y los tratamientos consistieron en aplicar cuatro porcentajes de humedad en el sustrato: 100%, 75%, 50% y 25%, del balance evaporación-precipitación de la semana anterior al riego, a partir de los 30 días después de la siembra hasta el final del ciclo de desarrollo del cultivo. Los niveles de humedad se controlaron por el método gravimétrico, mientras que la evaporación y las precipitaciones fueron tomadas de la Estación Meteorológica de Tapaste a 200 metros del área experimental (Tabla 2, anexos).

El riego se realizó con una frecuencia semanal mediante una manguera con un metro contador acoplado en su extremo para cuantificar el agua aplicada.

En ambos años, en cada tratamiento, se mantuvo una densidad de siembra igual a la del experimento anterior (3.2). Las variables evaluadas fueron: la humedad del sustrato, la altura de las plantas, el diámetro del tallo, la biomasa seca (hojas, tallo, raíz y total) y la superficie foliar. Se calcularon los índices: tasa relativa del crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN), relación de área foliar (RAF), relación de masa foliar (RMF) y área foliar específica (AFE) en la fase comprendida desde los 30 días después de la siembra hasta el corte. En el momento de la cosecha en el segundo año de experimento (1999) se evaluó la producción de aceites esenciales.

3.3.2 – Aplicación de porcentajes variables de agua por fases a partir de las pérdidas por evapotranspiración

Para conocer las fases del cultivo más exigentes a la humedad en el sustrato, se realizó un experimento, sembrado en enero y en abril durante dos años (1999 y 2000) bajo techo de polietileno transparente, para realizar los cambios de las

cantidades de agua aplicadas al sustrato se consideraron dos fases diferentes durante el crecimiento y desarrollo del cultivo: primer par de brotes en el tallo (C) e inflorescencia en el ápice del tallo (D) de forma tal que quedaron conformados tres períodos de humedades del sustrato diferentes: A-C, C-D y D-E.

El control de los tratamientos de humedad se realizó a través del método gravimétrico, es decir, pesajes diarios de las macetas para conocer las pérdidas por evapotranspiración. Se conformaron seis tratamientos (30 macetas por cada uno) los cuales se describen en la tabla 1. El riego se aplicó diariamente en horas de la mañana.

Tabla 1. Tratamientos de humedad impuestos en las distintas fases consideradas.

Fases Tratamientos	Siembra-primer par de brotes (A-C) 0 a 25-32 días	Primer par de brotes- inflorescencia en el ápice (C-D) 25-32 a 40-54 días	Inflorescencia en el ápice-inflorescencia laterales (D-E) 40-54 a 50-66 días
T 1	100 % de humedad	100 % de humedad	100 % de humedad
T 2	100 % de humedad	80 % de humedad	60 % de humedad
T 3	100 % de humedad	80 % de humedad	40 % de humedad
T 4	100 % de humedad	60 % de humedad	40 % de humedad
T 5	100 % de humedad	40 % de humedad	80 % de humedad
T 6	100 % de humedad	40 % de humedad	60 % de humedad

Las variables evaluadas fueron: la pérdida de agua por evapotranspiración, la altura de las plantas, la biomasa seca (hojas y tallo), la superficie foliar y se calculó la relación biomasa producida por agua evapotraspirada, en tres momentos del ciclo de desarrollo del cultivo a los 25, 40 y 50 días (siembra de abril) y 30, 50 y 66 días (siembra de enero) coincidiendo con las fases C, D y E.

3.4- Mecanismos fisiológicos de respuestas de la albahaca en función del estado hídrico de las plantas

Se realizaron tres experimentos para conocer el efecto del manejo del suministro hídrico cada tres y cinco días en las relaciones hídricas de las plantas de albahaca blanca, manteniendo un tratamiento control y suspendiendo el riego siete días antes del corte.

3.4.1-. Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en plantas de albahaca sometidas a diferentes frecuencias de riego

Con el objetivo de determinar algunos de los mecanismos que el cultivo es capaz de desarrollar en respuesta al déficit hídrico, se condujo un experimento en el mes de enero del año 2001, en el que se impusieron diferentes ciclos de aplicación del agua, desde los 30 hasta los 56 días después de la siembra, momento a partir del cual se suspendió el suministro hídrico siete días hasta el corte (63 días) excepto en el tratamiento control. Los tratamientos fueron los siguientes:

1. Riego diario (Control, C).
2. Riego diario y suspensión del riego siete días antes del corte (C + 7).
3. Riego cada tres días y suspensión del riego siete días antes del corte (C 3 + 7).
4. Riego cada cinco días y suspensión del riego siete días antes del corte (C 5 + 7).

En todos los casos se adicionó agua hasta que el sustrato alcanzó la máxima capacidad de retención de humedad.

Las variables evaluadas fueron la humedad del sustrato, la biomasa seca (hojas, tallo, raíz y total) y la superficie foliar en diferentes momentos del crecimiento y desarrollo del cultivo (31, 41, 56 y 63 días). Se calcularon los indicadores TRC, TAN, RAF, RMF y AFE en dos fases del crecimiento y desarrollo del cultivo, desde el primer par de brotes en el tallo hasta la inflorescencia en el ápice del tallo (30-56 días) y desde la inflorescencia en el ápice del tallo hasta las inflorescencias laterales (56-63 días).

Dentro de las variables hídricas se evaluaron: el contenido relativo de agua, el potencial hídrico foliar, el potencial osmótico saturado, el potencial de presión, la conductividad hidráulica de las raíces a los 31, 41, 56 y 63 días después de la siembra y se realizaron las curvas presión-volumen en el momento de la cosecha. Además, se evaluó la conductancia estomática en los diferentes momentos anteriormente planteados para las variables hídricas, así como la producción de aceites esenciales en el momento del corte.

A los 41 y 61 días después de la siembra se realizaron cursos diarios del contenido relativo de agua (CRA), del potencial hídrico foliar (Ψ_f) y el potencial de presión (Ψ_p) y se calculó el déficit de presión de vapor (DPV).

3.4.2. Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en plantas de albahaca sometidas a riego cada cinco días

Con la finalidad de comprobar los efectos que tuvo el riego cada 5 días en el crecimiento, el desarrollo y en las relaciones hídricas de las plantas, se desarrolló un experimento sembrado en abril del año 2001, para lo cual a los 30 días después de la siembra, las plantas se sometieron a riego cada 5 días hasta el momento del corte (50 días), estableciéndose los siguientes tratamientos:

- 1- Riego diario (Control, C).
- 2- Riego cada cinco días (C 5).

En ambos casos se adicionó agua hasta la máxima capacidad de retención de humedad del sustrato y se evaluaron en el momento del corte las siguientes variables: la humedad del sustrato, la biomasa seca (hojas, tallo, raíz y total), la superficie foliar, el contenido relativo de agua, el potencial hídrico foliar, el potencial de presión, el potencial osmótico saturado, la conductividad hidráulica de la raíz, la conductancia estomática y la producción de aceites esenciales.

3.4.3.- Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en plantas que se le suspendió el suministro hídrico por siete días antes del corte

Con la finalidad de comprobar el efecto que en algunas variables del crecimiento y las relaciones hídricas tuvo la suspensión del suministro hídrico siete días antes del corte, se desarrolló un experimento sembrado en enero del 2002, en el que las plantas se mantuvieron bien abastecidas de agua (100% de las pérdidas por evapotranspiración) hasta los 56 días después de la siembra, momento en el que se suspendió el suministro hídrico siete días antes del corte, estableciéndose los siguientes tratamientos:

- 1- Riego diario (Control, C).
- 2- Suspensión siete días antes del corte (S-7)

En el momento de la cosecha se evaluaron las siguientes variables: la altura de las plantas, la biomasa seca (hojas y tallo) el contenido relativo de agua, el potencial hídrico foliar, el potencial de presión, la conductancia estomática y la producción de aceites esenciales.

3. 5. – Técnicas y metodologías empleadas

3.5.1.-Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas evaluadas durante el desarrollo de los experimentos se tomaron de la Estación Meteorológica de Tapaste, aproximadamente a 200 metros del área experimental y consistieron en la medición de las temperaturas (máximas, mínimas y medias) la humedad relativa, la evaporación y las precipitaciones (Tabla 2 y 3, anexos).

En el momento de realizar los cursos diarios de las evaluaciones hídricas en las plantas (Experimento 3.4.1) se midió cada tres horas la humedad relativa y la temperatura con un termohigrógrafo VAISALA HMI 31, así como la intensidad de luz con un Luxómetro Testo 0500, a nivel de la altura de las plantas y en cinco puntos diferentes. Además se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) mediante la siguiente expresión :

$$DPV = e_{sat} - e_{act}$$

$$e_{sat} = 0.6108 * \text{Exp} ((17.27 * \text{Temp}) / (\text{Temp} + 237.3))$$

$$e_{act} = e_{sat} * Hr / 100$$

donde:

DVP - Déficit de presión de vapor en MPa

e_{sat} – Presión de vapor de saturación

e_{act} – Presión de vapor actual

Temp – es la temperatura medida con un termohigrógrafo en $^{\circ}\text{C}$

Hr – es la humedad relativa medida con un termohigrógrafo en %

3.5.2.- Humedad del sustrato

Para conocer la dinámica del contenido de humedad en el sustrato, se siguió el método gravimétrico. En el experimento 3.3.1 se realizaron muestreos en tres puntos por cada tratamiento hasta una profundidad de 40 cm y con una frecuencia

semanal, mientras que en los experimentos 3.4 y 3.5.1, se realizó con una frecuencia que estuvo en dependencia de los ciclos de riego impuestos en cada uno de ellos (tres y cinco días) hasta una profundidad de 15 cm.

Para la extracción y manejo de las mismas se utilizó una barrena y pesafiltros debidamente tarados, las muestras fueron secadas en la estufa a 110°C hasta masa constante y los datos se expresaron gráficamente como porcentajes de humedad en base a suelo seco.

3.5.3- Pérdida de agua por evapotranspiración

La pérdida de agua por evapotranspiración (Experimento 3.3.2) se determinó por el método gravimétrico (pesaje diario de las macetas), para lo cual se emplearon diez macetas por tratamiento.

3.5.4.- Variables del crecimiento

Para el estudio del crecimiento se usaron seis plantas por tratamiento a las que se les midió la altura de las plantas (cm), el diámetro del tallo (cm) y la superficie foliar (cm²), luego fueron separadas en los diferentes órganos para conocer su biomasa seca.

3.5.4.1.- Altura de las plantas

La altura de las plantas se midió a partir de la base del tallo hasta la yema apical con una regla graduada de un milímetro de aproximación.

3.5.4.2.- Diámetro del tallo

El diámetro del tallo fue medido inmediatamente por debajo de las hojas cotiledonales, con el empleo de un Pie de Rey.

3.5.4.3.- Superficie foliar

La superficie foliar se determinó a través del método del disco (watson y Watson citado por Soto, 1980), para ello se tomaron seis plantas por tratamiento y diez hojas por planta seleccionadas de la siguiente forma: tres de la parte basal, tres de la parte apical y cuatro de la parte media. De esas hojas se obtuvieron 40 discos,

de forma homogénea, con un perforador de área conocida, para un total de 240 discos por tratamiento.

Posteriormente, se secaron en estufa a 80 °C hasta masa constante. Con los valores de la masa seca de los discos, su superficie foliar y la masa seca total de las hojas, se determinó la superficie foliar mediante la siguiente relación:

$Sf = (Ad \times Msf) / (Msd)$ donde:

Sf.- Superficie foliar expresada en cm^2 .

Ad.- es el área de 40 discos en cm^2 .

Msf.- es la masa seca foliar de la planta en (g).

Msd.- es la masa seca de los discos en (g).

3.5.4.4.- Biomasa seca

La evaluación del crecimiento en biomasa seca de los órganos de las plantas (hojas, tallos, raíz y total, $g \text{ planta}^{-1}$) se determinó en seis plantas por tratamiento, en todos los casos las muestras fueron secadas en estufa a 80°C hasta masa constante.

3.5.5.- Índices del crecimiento

A partir de la superficie foliar y la biomasa seca total en los experimentos 3.3.1 y 3.4.1 y de acuerdo con Beadle (1993) se calcularon los indicadores siguientes: la tasa relativa del crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN), la relación de área foliar (RAF), la relación de masa foliar (RMF) y el área foliar específica (AFE), utilizando las expresiones siguientes:

$$TRC = (\ln M_2/M_1) / (t_2-t_1) \text{ g. g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$$

$$TAN = [(M_2 - M_1) / (A_2 - A_1)] [(\ln SF_2 / SF_1) / (t_2 - t_1)] \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$$

$$RAF = [(SF_2 - SF_1) / (M_2 - M_1)] [(\ln M_2 / M_1) / (\ln SF_2 / SF_1)] \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$RMF = [(M_{L2} - M_{L1}) / (M_2 - M_1)] [(\ln M_2 / M_1) / (\ln M_{L2} / M_{L1})] \text{ g g}^{-1}$$

$$AFE = [(SF_2 - SF_1) / (M_{L2} - M_{L1})] [(\ln M_{L2} / M_{L1}) / (\ln SF_2 / SF_1)] \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$$

Donde:

M_1 y M_2 – Masa seca total al inicio y final del período.

M_{L1} y M_{L2} – Masa seca foliar al inicio y final del período.

SF₁ y SF₂ – Superficie foliar al inicio y final del período.

t₁ y t₂ – Tiempo al inicio y final del período, el cual varió en dependencia de los experimentos considerados, experimento 3.3.1 el intervalo biológico considerado fue 30-63 días (inicio de los tratamientos de humedad-cosecha) y en el experimento 3.4 se tuvieron en cuenta dos intervalos biológicos que fueron 30-56 días (inicio-final de los tratamientos de riego) y 56-63 días (Suspensión del riego siete días antes del corte).

3. 5. 6. - Variables hídricas de las plantas

Las variables del estado hídrico de las plantas se determinaron en diferentes momentos del crecimiento y desarrollo del cultivo, en hojas bien desarrolladas del tercio superior de las plantas. En todos los casos se emplearon cinco plantas por tratamiento y las determinaciones se realizaron al alba (antes de la salida del sol) y al mediodía, excepto cuando se hicieron los cursos diarios, en que las determinaciones fueron cada tres horas a partir de las 6:00 am.

3. 5. 6. 1.- Contenido Relativo de Agua (CRA)

El contenido relativo de agua se determinó según la metodología de Turner (1981) y para el cálculo del valor se utilizó la siguiente ecuación: $CRA = [(M_f - M_s) / (M_t - M_s)] 100 (\%)$ donde M_f es la masa fresca en el momento del muestreo, M_s es la masa seca de las hojas después de secadas en estufa a 80 °C hasta masa constante y M_t es la masa turgente de las hojas tras su saturación en agua destilada durante 24 horas a 4 °C en la oscuridad.

3. 5. 6. 2.- Potencial Hídrico Foliar (ψ_f)

El potencial hídrico foliar en MPa, se determinó con una cámara de presión tipo Sholander (Foto 4, anexos) según la técnica descrita por Turner (1988) y se utilizó para ello gas nitrógeno.

3. 5. 6. 3.- Potencial osmótico foliar (Ψ_o)

El potencial osmótico fue determinado en las mismas muestras del potencial hídrico empleando un osmómetro de presión de vapor del tipo Wescor 5520 (Foto

6, anexos), calibrado con soluciones de osmolalidad conocida. Las hojas después de medírseles su potencial hídrico eran envueltas en papel de aluminio e introducidas en nitrógeno líquido para congelar por debajo de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente se conservan en frío a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. Previo a la realización de la medición las muestras se descongelaron a temperatura ambiente, se colocaron en una jeringuilla y en el jugo celular extraído se midió el potencial osmótico.

3. 5. 6. 4.- Potencial osmótico saturado (Ψ_{os})

Esta variable se determinó del mismo modo que en el potencial osmótico foliar, excepto que las muestras se saturaron de forma similar a la descrita en el epígrafe 3.6.5.1.

3. 5. 6. 5.- Potencial de presión (Ψ_p)

El potencial de presión se calculó a partir de la diferencia entre el potencial hídrico foliar y el potencial osmótico foliar, a través de la siguiente ecuación $\Psi_p = \Psi_f - \Psi_o$ (MPa).

1. 5. 6. 6.- Conductividad hidráulica de la raíz (L_p)

La conductividad hidráulica de la raíz se midió en cuatro plantas por tratamiento, a través del método de flujo inducido por presión hidrostática, de acuerdo con la técnica de Huxman, Smith y Neuman (1999). El sistema radical de las plantas se separó de la parte aérea mediante un corte a 3 cm por encima del cuello de la raíz y se lavó con cuidado hasta eliminar completamente los restos de sustrato, inmediatamente se sumergió en un recipiente con agua destilada, el cual se colocó en una cámara de presión. En el extremo donde se realizó el corte se colocó un tubo plástico en forma de capilar, que fue introducido por el orificio de la tapa de la cámara, de tal forma que permitiera la salida del flujo desde el sistema radical (Foto 7, anexos).

Después de 30 minutos y a partir de 0.2 MPa la presión se incrementó en 0.1 MPa hasta 0.8 MPa, por un período de tiempo de tres minutos cada vez y el exudado fue recogido en viales mediante un tubo de plástico acoplado en el extremo

exterior del sistema radical, pesándose luego para conocer la cantidad de exudado por unidad de tiempo.

Posteriormente se determinó la masa seca de la raíz, lo que permitió estimar el flujo hidrostático por unidad de masa seca de la raíz y la L_p fue determinada por la pendiente de la regresión lineal obtenida al graficar la presión aplicada contra el flujo hídrico, el resultado se expresa en $\mu\text{g g}^{-1} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$.

3. 5. 6. 7.- Curva presión volumen P-V

Para la realización de esta técnica, en el momento del corte, se tomaron 16 hojas (completamente desarrolladas) de cuatro plantas por tratamiento y se saturaron por espacio de 24 horas (en igualdad de condiciones a las del epígrafe 3.6.5.1) momento en que se le determinó el potencial hídrico mediante la cámara de presión y su masa fresca (Turner, 1987). El proceso se repitió con sucesivas medidas de la masa fresca y el correspondiente potencial hídrico durante la deshidratación del tejido en condiciones ambientales naturales, hasta que las variaciones en la pérdida de agua y del potencial fueron mínimas. Los incrementos de agua perdida se dedujeron de las pesadas de las hojas, al final se determinó la masa seca de la muestra. Al graficar el inverso del potencial hídrico contra el contenido relativo de agua se obtuvieron las curvas presión-volumen (P-V) a partir de las cuales se determinaron los siguientes parámetros:

Ψ_{os} .- Potencial osmótico saturado en MPa.

Ψ_{oppt} .- Potencial osmótico en el punto de pérdida de turgencia en MPa.

$\Psi_{oppt}-\Psi_{os}$.- Diferencia entre el potencial osmótico en el punto de pérdida de turgencia y el potencial osmótico saturado en MPa.

C_{htotal} .- Contenido hídrico total en %. Se determinó como $((M_t-M_s)/M_s)*100$, donde M_t y M_s , es la masa turgente (saturada) y seca respectivamente.

$R M_t/M_s$.- Relación masa turgente masa seca en %.

$Chapop$.- Contenido hídrico apoplástico en %. Se determinó como Y_0/a , donde Y_0 y a son el intercepto con el eje X y la pendiente, respectivamente, de la ecuación lineal resultante del ajuste hecho en las curvas.

$Chsimp$.- Contenido hídrico simplástico en %. Se determinó como $100-Chapop$.

□.- Módulo de elasticidad. Se determinó como $\Psi_{os} * CRA_{ppt} / CRA_{sat} - \Psi_{os}$, donde CRA_{ppt} y CRA_{sat} , es el contenido relativo de agua en el punto de pérdida de turgencia y a máxima saturación, respectivamente.

3.5.7.- Conductancia Estomática (gs)

La conductancia estomática fue determinada al mediodía en un número de muestras análogo al empleado para la medida del contenido relativo de agua (epígrafe 3.6.5.1) y en la zona abaxial de las hojas, empleando un porómetro de difusión modelo Delta-T Device AP3, (Foto 5, anexos).

3.5.8.- Contenido de aceites esenciales (AES)

Para la determinación de los aceites esenciales se utilizaron las hojas de quince plantas por tratamiento en el momento del corte, divididas en tres muestras iguales, las cuales fueron secadas en estufa a 30 °C con recirculación de aire hasta masa constante y posteriormente fueron molinadas. El aceite esencial se obtuvo por hidrodestilación en una proporción material vegetal/agua (2:1 m/v) por un período de 5 horas en un equipo tipo Clevenger, descrito en Norma ISO 6571. Los resultados fueron expresados en mL de aceites esenciales/kg de masa seca. Además, se calculó el rendimiento de aceites en mililitros por planta.

3.6.- Análisis estadísticos realizados

En los experimentos 3.2; 3.3.1; 3.4.2 y 3.4.3, se calcularon los estadígrafos de posición y dispersión e intervalos de confianza al 95%, la significación de las medias en cada variable evaluada se comprobó por la prueba de t-Student. Los resultados fueron graficados y tabulados para su mejor análisis e interpretación.

En el resto de los experimentos, se utilizó un Análisis de Varianza de Clasificación Simple y donde hubo diferencias entre los tratamientos se aplicó la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan, referido por Cochran y Cox (1990) con $p \leq 0.05\%$, utilizando el paquete estadístico SPSS.

4- Resultados y discusión

4.1.- Estudio de la fenología de la albahaca blanca en dos fechas de siembra con condiciones climáticas diferentes

En la figura 1-I, se muestra la duración de las distintas fases fenológicas del cultivo, se puede apreciar que la fase más extensa es la que culmina con la aparición de la inflorescencia del ápice del tallo (D) cualquiera sea la fecha de siembra evaluada.

Esta fase es una de las más importantes en este cultivo debido a que en ella se produce el cambio del estado vegetativo al reproductivo, un basto crecimiento vegetativo y representa el período más amplio del ciclo biológico hasta donde duró el estudio y por tanto, es donde más atención hay que poner desde el punto de vista fitotécnico, con vistas a lograr los mayores rendimientos en biomasa.

La fase E, aun cuando en abril presentó la misma duración que otras fases, también requiere de esmerada atención ya que en ella ocurren las inflorescencias laterales, lo cual constituye un momento adecuado para realizar el corte y lograr de esta forma la mayor concentración de los aceites esenciales en las hojas.

Una vez que en las plantas aparecen las inflorescencias en las ramas laterales (E) el tiempo que media para que ocurra la senescencia en el primer par de hojas verdaderas (F) es el mismo, independientemente de la fecha de siembra. El hecho de que la fase D represente el mayor porcentaje del ciclo biológico del cultivo, hasta donde duró el estudio (28.33% y 28.95%), para las siembras de enero y abril, respectivamente y que la fase E sea la más apropiada para la realización del corte, sugiere la necesidad de brindar una atención cultural rigurosa, fundamentalmente en cuanto al suministro hídrico y el control de la floración, con el propósito de buscar el mayor rendimiento de los aceites esenciales, una vez que se haya logrado conjugar el mayor rendimiento en biomasa foliar (hojas) y la mayor concentración de los aceites esenciales. En este sentido, Paumero (1999) sugirió cosechar al inicio o antes de la aparición de la floración, para lograr los objetivos antes expuestos.

En la siembra de abril se encontraron acortamientos en la duración de las fases fenológicas con respecto a la siembra de enero (Figura 1-I), lo que se debió, fundamentalmente, al adelanto ocurrido en las primeras fases del cultivo (BC y CD), con 5 días de adelanto en ambas fases, respecto a la siembra de enero. Este comportamiento al parecer se debió al efecto de las temperaturas más elevadas en el período (1998, Tabla 3, anexos) lo que pudo acelerar el metabolismo general de las plantas y favorecer los procesos de crecimiento y desarrollo de estas.

Al analizar la ocurrencia de las diferentes fases fenológicas del cultivo (1.II) se observó que la fase (A) abarca entre 5 y 7 días en dependencia de la fecha de siembra. Durante esta etapa, ocurren los procesos de hidratación, cambios en las estructuras sub-celulares, incremento en la actividad respiratoria, síntesis, hidrólisis y finalmente elongación del eje embrionario, de acuerdo con lo planteado por Azcón-Bieto y Talón (2001).

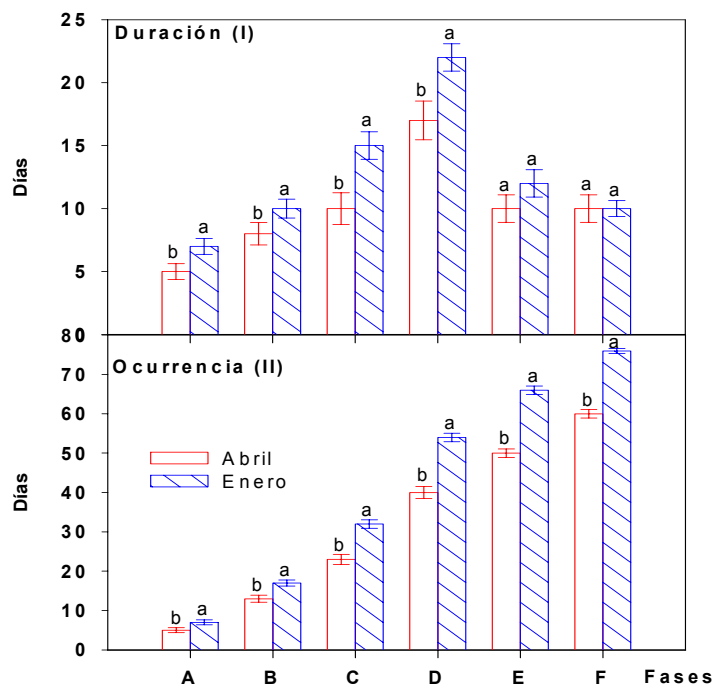


Figura 1. Fenología del cultivo de albahaca blanca en dos fechas de siembra (enero y abril). Las barras y las letras sobre las figuras representan el intervalo de confianza y la significación, según t-student.

Leyenda

- A.- Siembra - Emergencia a la superficie del sustrato.
- B.- Emisión del primer par de hojas verdaderas.
- C.- Emisión del primer par de brotes axilares.
- D.- Aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo.
- E.- Aparición de las inflorescencias laterales.
- F.- Inicio de la senescencia en el primer par de hojas en el tallo central.

La fase correspondiente a la emisión del primer par de hojas verdaderas (B) ocurre entre los 13 y 17 días; mientras que, la que se corresponde con el momento de inicio del primer par de brotes laterales (C) se observó a los 23 y 32 días después de la siembra en abril y enero, respectivamente. La fase C, coincide con la emisión del tercer par de hojas verdaderas, así como la fase D que se corresponde con la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo y comienza a observarse después de la emisión del séptimo u octavo par de hojas; se hace visible a los 40 días después de la siembra, en abril y a los 54 días en la de enero.

La fase que corresponde a la aparición de las inflorescencias laterales (E) ocurre a los 50 y 66 días después de la siembra en abril y enero, respectivamente. Esta fase E, también coincide con la aparición del noveno par de hojas en el tallo. Por último, la fase de inicio de la senescencia del primer par de hojas verdaderas (F) ocurrió a los 60 y 76 días después de la siembra, para ambas fechas evaluadas. Esta fase se distingue por el cambio de coloración de verde a amarillo del primer par de hojas verdaderas (Foto 3, anexos).

En la siembra de enero, la etapa evaluada desde la siembra hasta el inicio de la senescencia del primer par de hojas verdaderas tuvo una duración de 76 días, mientras que en la siembra de abril fue de 60 días; lo que pone de manifiesto la marcada influencia que sobre el ciclo biológico de la albahaca tienen las fechas de siembra estudiadas.

En general, las variaciones climáticas que ocurrieron durante el período de estudio influyeron marcadamente en el ciclo biológico del cultivo. La temperatura, por ejemplo, es una de las variables que probablemente haya ejercido una influencia directa en este resultado. Con respecto a esta variable meteorológica, se encontraron valores máximos en la fecha de siembra de enero por debajo de los 27⁰C (promedio decenal para todo el ciclo) y las mínimas estuvieron por debajo de los 18⁰C, mientras que en la siembra efectuada en abril, las temperaturas máximas fueron superiores a los 30⁰C y las mínimas alcanzaron valores que superaron a los 20⁰C, de forma general (a partir de la segunda decena, año 1998, Tabla 3, anexos).

Este comportamiento de las temperaturas en la fecha de siembra de abril, pudo incrementar la velocidad de las reacciones que intervienen en los procesos fisiológicos vinculados al crecimiento y desarrollo de las plantas y provocar un acortamiento del ciclo biológico del cultivo. Este efecto parece ser más acentuado en la fase de mayor duración (D), por ser ésta la que define en gran medida las diferencias en ambas fechas de siembra, en este sentido autores como Bouza (1991) y Salisbury y Ross (1994) señalaron el efecto que tienen las temperaturas relativamente altas en el acortamiento del ciclo biológico de los cultivos agrícolas.

Las temperaturas medias por fase se presentan en la tabla 2, éstas variaron en dependencia de las fechas de siembra evaluadas, con los mayores valores en la siembra de abril, en todas las fases estudiadas. Teniendo en cuenta las dos fechas de siembra y el año de estudio, los resultados revelan que cuando las temperaturas medias estuvieron por encima de 26 °C (abril) se acortó el ciclo biológico del cultivo hasta la fase evaluada (inicio de la senescencia en el primer par de hojas) a diferencia de la siembra efectuada en enero, donde las temperaturas medias no alcanzaron los 23 °C.

Tabla 2. Temperatura media (Tm en °C) y días de duración de cada fase en las fechas de siembra estudiadas.

Fases		A	B	C	D	E	F
Abril	Días	5	8	10	17	10	10
	Tm	28.78	27.81	28.14	26.33	27.73	26.90
Enero	Días	7	10	15	22	12	10
	Tm	20.22	17.58	19.78	22.11	21.85	22.30

Es bueno destacar la influencia diferenciada que tuvo el gradiente de temperatura media en cada una de las fases consideradas; la fase C, por ejemplo, mostró un gradiente de 8.36 °C con cinco días de adelanto en la siembra de abril con respecto a la siembra de enero, mientras que la fase D, con la misma cantidad de días de adelanto, solo tuvo un gradiente de 4.22 °C, de manera que cada fase mostró una determinada sensibilidad a la variable meteorológica considerada.

Estos resultados en el cultivo de la albahaca, corroboran los encontrados por Fuentes *et al.* (2000) quienes al estudiar la fenología de algunas plantas medicinales, encontraron que en diferentes especies de la familia *Lamiaceae*

se acortó el ciclo biológico cuando fueron cultivadas en presencia de temperaturas relativamente altas.

Otros investigadores se han referido al efecto que proporciona la temperatura al ciclo biológico de los cultivos. Hernández (1995) informó en el cultivo de la calabaza, la ocurrencia de acortamiento, en diferentes fases del cultivo, cuando las plantas se sembraron en el llamado período lluvioso de Cuba, con respecto al período poco lluvioso, puntualizando que esto pudo deberse a las variaciones climáticas de ambos períodos, en especial a las temperaturas las cuales fueron más elevadas en el período lluvioso.

También Casanova y Diéguez (1995); Pino y Terry (1997); Azkue (2000); Pino (2001) informaron que la fecha de siembra tiene una gran influencia sobre la duración del ciclo biológico en diferentes cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), manifestándose el acortamiento de éste cuando las fechas de siembra coinciden con altas temperaturas y mayor cantidad de luz.

4.1.1.- Consideraciones generales del experimento

Al realizar una valoración del comportamiento fenológico del cultivo fue posible determinar la duración de las diferentes fases, donde la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (D) y la aparición de las inflorescencias laterales (E) resultaron ser las de mayor significación, debido fundamentalmente a la alta acumulación de biomasa foliar y mayor concentración de aceites esenciales, respectivamente, como se podrá apreciar en los experimentos que posteriormente se analizaran.

Las fechas de siembra y las variables meteorológicas, por ejemplo, el aumento de las temperaturas, influyeron positivamente en el ciclo biológico del cultivo, provocando un acortamiento del mismo, debido a las diferencias encontradas en las primeras fases del cultivo hasta la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (D) cuando se sembró en el mes de abril.

El estudio de la fenología en la albahaca blanca permitió conocer las fases en las cuales se debe prestar mayor atención en cuanto a las actividades culturales, como por ejemplo el suministro hídrico, labor que debe ser diferenciada en dependencia de la demanda de cada fase, por esta razón resulta conveniente analizar a continuación la influencia que ejercen diferentes

abastecimientos hídricos al sustrato en el crecimiento, desarrollo y niveles de aceites esenciales del cultivo.

4.2- Crecimiento y desarrollo de la albahaca en función de los niveles de humedad en el sustrato

A continuación se analizan las variables del crecimiento en plantas de albahaca blanca que fueron desarrolladas en dos formas diferentes de suministrarle el agua: una, aplicando porcentajes fijos del balance evaporación-precipitación durante todo el ciclo del desarrollo del cultivo y la otra, reduciendo e incrementando las cantidades de agua aplicada por fases del desarrollo del cultivo, a partir de las pérdidas por evapotranspiración.

4.2.1 – Aplicación de agua a partir de porcentajes fijos del balance evaporación-precipitación

4.2.1.1 – Dinámica de humedad en el sustrato

En la figura 2 se presentan las dinámicas de humedad en el sustrato, la evaporación y las precipitaciones totales en las siembras de enero. Se observó que la humedad se mantuvo entre 27 y 48% en base a suelo seco en el tratamiento control para los dos años de estudio, porcentajes que resultaron ser siempre mayores que en los restantes tratamientos, lo que conllevó a las plantas en estas condiciones a mantenerse en niveles altos de humedad.

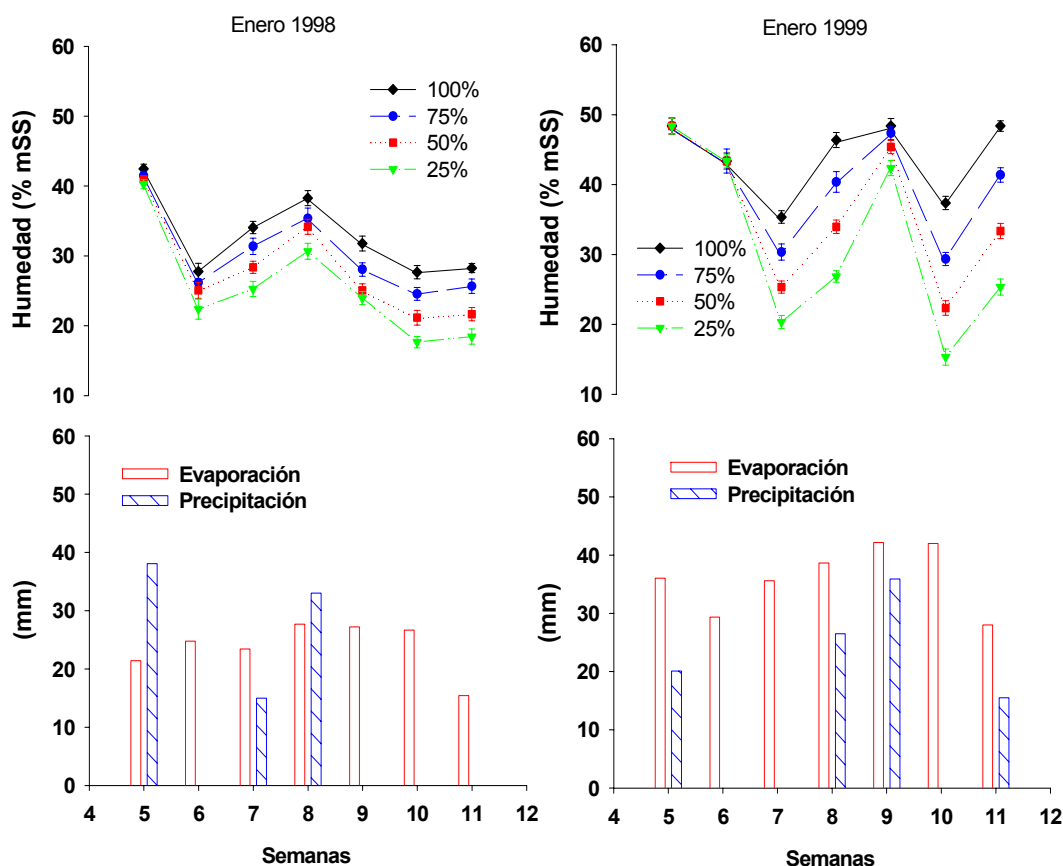


Figura 2. Dinámica de humedad en el sustrato, evaporación y precipitaciones durante el crecimiento y desarrollo de plantas de albahaca blanca sembradas en enero durante dos años y sometidas a porcentajes fijos de agua a partir del balance evaporación-precipitación. Las barras sobre las figuras representan los intervalos de confianza al 95%.

Además, se pudo observar que en la mayoría de las semanas y en los dos años evaluados las pérdidas por evaporación fueron superiores a las precipitaciones ocurridas, lo que provocó una alta demanda atmosférica, debido a que la evaporación superó los ingresos hechos por las precipitaciones, comportamiento característico del período poco lluvioso de Cuba y que ha sido señalado con anterioridad por Díaz, Borsani y Monza (1999); Salleo *et al.* (2000).

Los resultados concuerdan también con los obtenidos por Martínez (1996) quien planteó, que las mayores necesidades de aplicar agua a los cultivos sucede en el llamado período seco, debido fundamentalmente a la poca ocurrencia de precipitaciones en este período.

En la segunda siembra (enero 1999) se apreció una mayor diferenciación en los tratamientos de humedad en el sustrato, debido, entre otros factores, a que

la evaporación resultó ser mayor en ese año, acompañado de precipitaciones menos abundantes. En este sentido, Dell'Amico (1992) encontró en experimento desarrollado en condiciones de campo en el cultivo del tomate, que las mayores diferencias en el contenido de humedad del suelo entre los tratamientos, por él considerado, estuvo sujeto también a las escasas precipitaciones.

Otro factor que pudo haber influido en estos resultados, aun cuando no fue evaluado, es el ingreso debido al rocío, el que de acuerdo con Dell'Amico *et al.* (1996) hace un aporte a la humedad del suelo de aproximadamente un 5%, lo que a su vez mejoró el potencial hídrico, los indicadores del crecimiento y el rendimiento en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill).

Por otra parte, la humedad del suelo presenta variabilidad espacial (García *et al.* 2003) y también el agua hace movimientos en proporción al gradiente de energía potencial (Selker 2003) por lo que estas propiedades pueden haber influido en el comportamiento no proporcional de la humedad, además de los factores anteriormente analizados, aun cuando los tratamientos impuestos fueron proporcionales.

4.2.1.2 – Crecimiento y desarrollo de las plantas

Al analizar el crecimiento en altura de las plantas de albahaca blanca, se pudo comprobar que la magnitud de la variable cambió en dependencia de los tratamientos y las variaciones fueron diferentes en cada uno de los años evaluados (Figura 3).

Es de destacar que las diferencias entre los tratamientos no fueron evidentes en los primeros estadios del desarrollo de las plantas, notándose estas diferencias en la medida en que aumentó el tiempo de las plantas sometidas a los diferentes tratamientos (después de los 50 días en el caso del primer año y alrededor de los 37 días después de la siembra en el segundo año), siendo más evidentes estas diferencias en el segundo año evaluado.

El anterior resultado estuvo condicionado por la relación evaporación-precipitación desde los primeros momentos de impuestos los tratamientos, en la siembra de enero 1999 hubo una mayor diferenciación de los tratamientos en relación con enero 1998, a consecuencia de mayores diferencias entre ellos, como ya fue explicado en la dinámica de humedad del sustrato.

Independientemente de que las mayores alturas en las plantas se alcanzaron de forma general en los tratamientos donde se aplicó el 100% y 75% del balance evaporación-precipitación, el patrón del comportamiento de esta variable no se modificó por el efecto de los tratamientos.

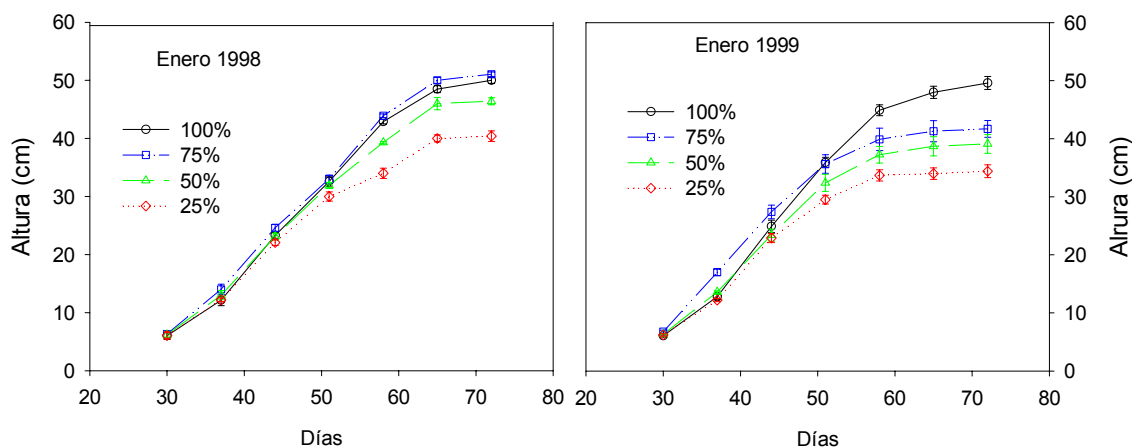


Figura 3. Dinámica de la altura durante el desarrollo del experimento de plantas de albahaca blanca sembradas en enero durante dos años y sometidas a porcentajes fijos de agua a partir del balance evaporación-precipitación. Las barras sobre las figuras representan el intervalo de confianza al 95%.

Al analizar la altura de las plantas en el momento en que se realizó la cosecha (fase F), se alcanzó una magnitud de aproximadamente 50 cm promedio por planta en el tratamiento en que se aplicó el 100% del balance evaporación-precipitación (T1) en los dos años de estudios, sin diferencias con el tratamiento T2 (75% del balance evaporación-precipitación) en el primer año (Tabla 3). Los resultados anteriores estuvieron condicionados por la relación evaporación-precipitación desde los primeros momentos de impuestos los tratamientos, como ya fue explicado en la dinámica de humedad del sustrato. En la primera siembra se encontró una diferencia de 9.5 cm de altura en el tratamiento menos abastecido hídricamente T4 (25% del balance evaporación-precipitación) con respecto al T1 (100%) lo que representa un 19.2% de reducción. En la segunda siembra la diferencia entre estos dos tratamientos fue de 15.2 cm de altura lo que representa un 30% de reducción respecto al tratamiento del 100% del balance evaporación-precipitación.

Tabla 3. Altura final en cm de plantas sometidas a cuatro porcentajes fijos de agua a partir del balance evaporación-precipitación. El \pm y las letras en la tabla representan el intervalo de confianza al 95% y la significación, según t-student a $p < 0,05$.

Tratamientos		Enero 1998		Enero 1999	
T1	100%	50.00 \pm 1.05	a	49.60 \pm 1.11	a
T2	75%	51.00 \pm 0.45	a	41.70 \pm 1.45	b
T3	50%	46.44 \pm 0.68	b	39.10 \pm 1.61	b
T4	25%	40.50 \pm 1.50	c	34.40 \pm 1.11	c

Los resultados encontrados hasta el momento indican que en la variable altura, las plantas de albahaca blanca manifiestan una notoria sensibilidad en cuanto a la deficiencia de agua, comportamiento que fue más evidente cuando el suministro hídrico se redujo al 25% del balance evaporación-precipitación.

Este comportamiento es lógico si se tiene en cuenta que precisamente es el agua la encargada de la turgencia celular, lo que denota que el nivel de humedad en el sustrato del 25% del balance no fue capaz de garantizar los requerimientos adecuados para el alargamiento y la división celular y por ello se afecta el crecimiento en altura.

Los resultados encontrados en la variable antes descrita fueron inferiores a los informados por TansÚ, Nacar y Culcu (1997). Estos autores estudiaron diferentes manejos agrotécnicos del cultivo de la albahaca blanca y encontraron alturas superiores a 50 cm, debido fundamentalmente a la variedad y a las bases experimentales, las cuales fueron diferentes.

En relación con el diámetro del tallo (Figura 4) su comportamiento fue muy similar al seguido por la altura de las plantas, esta variable mostró reducciones en su magnitud cuando los volúmenes de agua aplicados al sustrato, de acuerdo con los tratamientos impuestos, fueron menores. Las diferencias entre tratamientos comenzaron a observarse a partir de los 44 días (enero 1998) y a los 37 días (enero 1999). A diferencia de la altura, las plantas del tratamiento del 75% del balance, mostraron los valores mayores en ambos años estudiados.

Similar a lo encontrado en el caso de la altura, en el segundo año hubo una diferencia más acentuada entre tratamientos que en el primero, debido

fundamentalmente a la humedad del sustrato y a la relación entre la evaporación y la precipitación anteriormente analizada.

Al analizar el diámetro del tallo en el momento de la cosecha (Tabla 4) se observó que alcanzó la mayor magnitud (superior a 0.80 cm) en el tratamiento del 75% del balance evaporación-precipitación, sin diferencias significativas con el tratamiento del 100% en enero 1998 y 100% y 50%, en enero 1999. Sin embargo, el tratamiento del 25% del balance mostró reducciones significativas, en el orden de 25.9% y 19.3% en relación al T2, en la siembra de enero 1998 y de enero 1999, respectivamente.

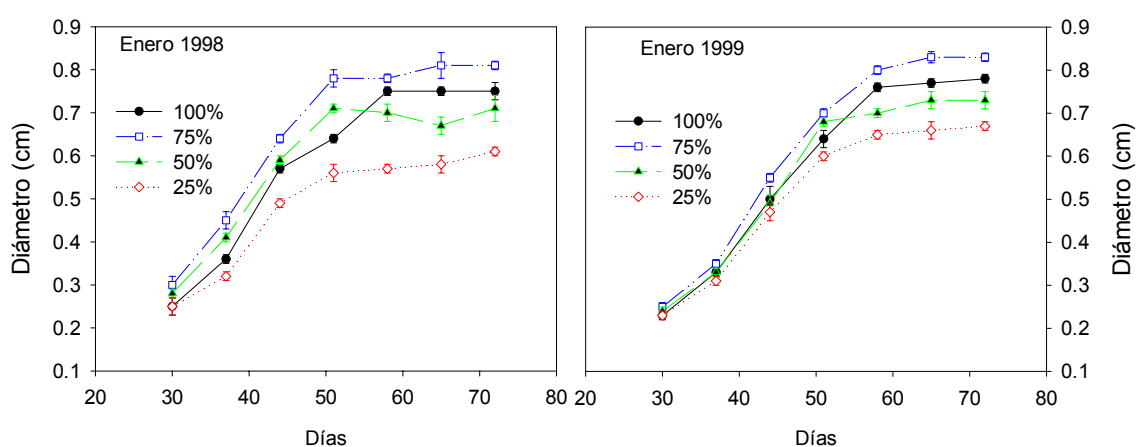


Figura 4. Dinámica del diámetro del tallo durante el desarrollo del experimento de plantas de albahaca blanca sembradas en enero durante dos años y sometidas a porcentajes fijos de agua a partir del balance evaporación-precipitación. Las barras sobre las figuras representan el intervalo de confianza al 95%.

Tabla 4. Diámetro del tallo final en cm de plantas sometidas a cuatro porcentajes fijos de agua a partir del balance evaporación-precipitación. El \pm y las letras en la tabla representan el intervalo de confianza al 95% y la significación, según t-student a $p < 0,05$.

Tratamientos		Enero 1998		Enero 1999	
T1	100%	0.75 ± 0.02	ab	0.78 ± 0.04	ab
T2	75%	0.81 ± 0.03	a	0.83 ± 0.03	a
T3	50%	0.71 ± 0.02	b	0.73 ± 0.05	ab
T4	25%	0.60 ± 0.02	c	0.67 ± 0.06	b

Haciendo una valoración de los resultados, se comprobó que la variable diámetro del tallo sufrió significativas reducciones en sus magnitudes cuando el suministro hídrico fue disminuido hasta el 25% del balance evaporación-

precipitación, como lo ocurrido en la variable altura de las plantas anteriormente analizada y el hecho de que las plantas alcanzaran una altura mayor en la siembra del año 1998, respecto a la de 1999, permitió que estas últimas logaran un diámetro superior.

En la figura 5 se presentan los valores alcanzados por la variable masa seca de los diferentes órganos y el total en el momento de la cosecha. Se encontró que los tratamientos empleados provocaron diferencias significativas en la biomasa de los tres órganos de las plantas evaluados y en la total. En el caso de las hojas, los mejores resultados se alcanzaron en el tratamiento donde se aplicó el 75% del balance evaporación-precipitación, aunque en el primer año no se detectaron diferencias con el tratamiento T1.

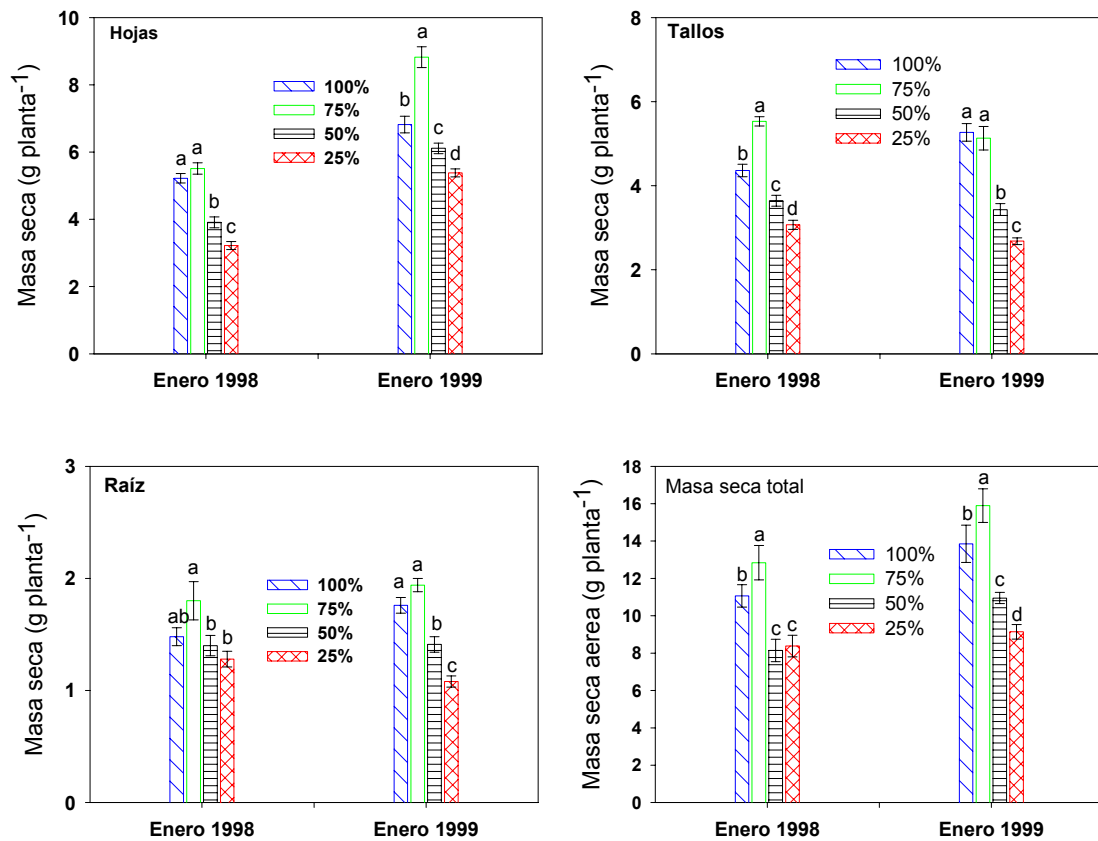


Figura 5. Masa seca de los diferentes órganos de las plantas y el total de plantas de albahaca blanca sembradas en enero durante dos años y sometidas a porcentajes de agua fijos calculados a partir del balance evaporación-precipitación. Las barras y las letras sobre las figuras representan el intervalo de confianza al 95% y la significación, según t-student a $p < 0,05$.

El resultado reviste gran importancia en cuanto al manejo del agua en el cultivo, si se tiene en cuenta que las hojas son el principal órgano de la planta de albahaca blanca utilizado en la extracción de aceites esenciales. Por otra

parte, se observó que en general, en la primera siembra (enero 1998) se obtuvieron los resultados más bajos en la biomasa de este órgano, lo que indica una determinada sensibilidad de la biomasa foliar a las condiciones meteorológicas.

Las temperaturas (máximas y mínimas) y la humedad relativa tuvieron una influencia directa en la variable, si se tiene en cuenta que la fase D abarca desde la emisión del primer par de hojas hasta la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo y define en gran medida el ciclo biológico, transcurrió entre la segunda decena de febrero y la primera de marzo, en ese período las temperaturas máximas y mínimas fueron inferiores en la siembra del año 1998, con valores promedio decenal de 26.00 °C y 13.09 °C respectivamente, mientras que en la siembra del año 1999 fueron de 27.08 °C y 16.97 °C respectivamente (Tabla 3, anexo).

Asimismo, la humedad relativa en la primera siembra (1998) para el periodo analizado fue de 81.7% superior a la siembra efectuada en el año 1999 que fue de 77.96%, a lo que hay que añadir el efecto de las interacciones entre los factores, que pudo ser más determinante que la acción individual de cada factor.

Al comparar los efectos producidos por los tratamientos 2 y 4 en la biomasa foliar, se encontraron incrementos de 41.5% en enero del 1998 y 35% en enero del 1999, lo que demostró la factibilidad de aplicar volúmenes de agua del 75% del balance, con el objetivo de lograr altos valores de biomasa en este órgano de la planta.

En los dos restantes órganos (tallos y raíz) aun cuando en los dos años los valores fueron similares en su magnitud, sí se encontró que la mayor acumulación de biomasa se alcanzó en los tratamientos a los que se les aplicaron los mayores volúmenes de agua al sustrato (100% y 75%).

Los valores alcanzados en la biomasa seca total mostraron diferencias significativas en los dos años estudiados. Si bien en el primer año las hojas no difirieron entre T1 y T2, tampoco lo hicieron los tallos en el segundo año en esos dos tratamientos. Sin embargo, la raíz no mostró diferencias entre ellos en ambos años, lo que sugiere que las diferencias en biomasa seca total en enero 1998 fueron determinadas por la masa de los tallos, mientras que en enero 1999, por la de las hojas.

Las plantas correspondientes al tratamiento del 75% del balance evaporación-precipitación mostraron los mejores resultados en esta variable en los dos años evaluados, lo que representó entre el 34.74 y 42.48% de incremento, con respecto al tratamiento T4, que fue el de menor volumen de agua aplicado.

De acuerdo con los resultados expuestos, se puede inferir que este nivel de humedad fue suficiente para garantizar en las plantas un adecuado balance del carbono, con su consiguiente repercusión en la biomasa de las plantas, tal y como ha sido observado.

Es de destacar que, el tratamiento T1 (100% del balance evaporación-precipitación) en ocasiones provocó niveles de humedad en el sustrato por encima del 40%, principalmente en la siembra de enero 1999, lo que pudo constituir una excesiva humedad en el sustrato y afectar negativamente el desarrollo normal de las plantas. En relación con esta problemática, Coolbear y Megill (1990) comprobaron en el cultivo del tomate, que el exceso de agua disminuyó el contenido de masa seca. En el propio cultivo, Dell'Amico *et al.* (1999); Pérez, Dell'Amico y Reynaldo (1999) obtuvieron reducciones en esta variable, cuando las plantas fueron sometidas a condiciones de hipoxia.

Por otra parte, niveles de humedad iguales o inferiores al 50% del balance evaporación-precipitación afectaron las variables con reducciones significativas, aun cuando en enero 1998, en la variable masa seca de la raíz, estos niveles de humedad fueron estadísticamente iguales al 100% del balance. Santa Olalla y Valero (1993); Jerez (1998) señalaron que los efectos más visibles de un déficit hídrico en el suelo se manifiestan a través de la reducción de la masa aérea del vegetal, entre otras variables, aspecto que se corrobora con los resultados de este trabajo.

En correspondencia, Jerez (1991) trabajando en otro cultivo destacó que la acumulación de biomasa en las plantas estuvo estrechamente relacionada con el grado de humedad en el suelo, lo cual ha sido señalado con anterioridad por Hsiao y Breadford (1983) quienes plantearon que el déficit hídrico en el suelo, constituye un factor limitante de gran importancia para la producción, el que puede influir de forma directa o indirecta en el crecimiento del vegetal, aspecto reafirmado por Pastenes, Porter y Baginsky (2000) quienes destacaron que éste afectó algunos procesos fisiológicos y el estado de hidratación de las

plantas, con disminución de la producción y acumulación de masa seca del cultivo.

La superficie foliar mostró un comportamiento muy similar al encontrado en la masa seca de las hojas, en los dos años evaluados (Figura 6). El mejor comportamiento se obtuvo en las variantes 75% del balance evaporación-precipitación en los dos años y 100% en el primer año, sin mostrar diferencias significativas entre ellos en ese año, pero sí en el segundo.

Las disminuciones mostradas en esta variable en los tratamientos 50% y 25%, estuvieron dadas fundamentalmente por reducciones en el número de hojas, causado por el bajo nivel de humedad que experimentó el sustrato (Figura 2) durante la mayor parte del ciclo biológico del cultivo, tal y como fue explicado anteriormente; mecanismo que, desarrollan algunas especies de plantas cuando son expuestas a niveles limitados de humedad, para disminuir las pérdidas por transpiración, como señalaron Lu y Neumann (1999).

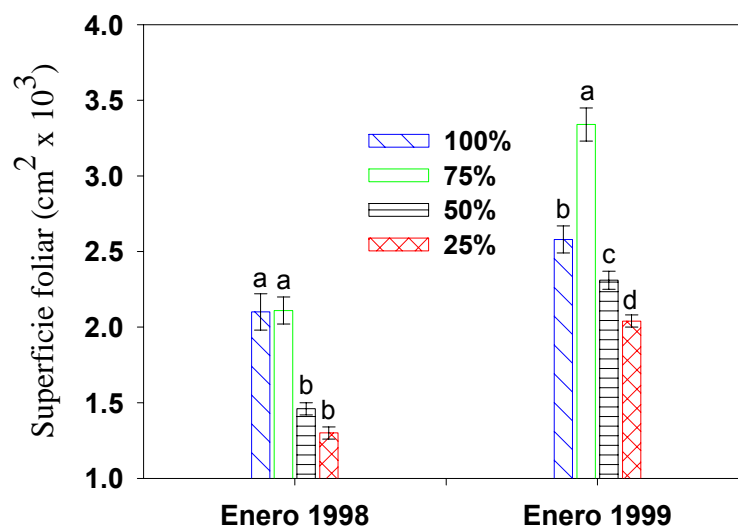


Figura 6. Superficie foliar de plantas de albahaca blanca sembradas en enero durante dos años y sometidas a porcentajes fijos de agua calculados a partir del balance evaporación-precipitación. Las barras y las letras sobre las figuras representan el intervalo de confianza al 95% y la significación, según t-student a $p < 0,05$.

En la figura 7 se refleja el comportamiento de la TRC, la TAN, la RAF, la RMF y el AFE de las plantas. Tanto en la TRC, como en la TAN, variables que expresan el incremento de biomasa en relación a la preexistente y la eficiencia de los órganos asimilatorios en producir nueva biomasa, respectivamente, se encontró el mismo comportamiento en los dos años estudiados. El tratamiento

del 75% del balance evaporación-precipitación, mostró los valores más altos en ambas variables, en las dos evaluaciones realizadas, lo que indica el papel de la tasa de asimilación neta (TAN) en la eficiencia del crecimiento en las plantas, que se revierte en una mayor capacidad del órgano foliar para producir biomasa, siendo más evidente este aporte en dicho tratamiento.

La RAF en la siembra de enero 1998 disminuyó en correspondencia con los tratamientos hídricos empleados, de manera que los de mayores volúmenes de agua aplicados mostraron los mayores valores, mientras que en la siembra de enero 1999, sucedió todo lo contrario. Esta tendencia se debe al comportamiento diferenciado de las variables meteorológicas en cada año evaluado, como se explicó anteriormente en la variable masa seca de los diferentes órganos y total. Un comportamiento similar fue mostrado por la RMF, mientras que en la superficie por unidad de masa (AFE) se comprobó que no hubo diferencias entre los tratamientos aplicados, en ninguna de las siembras realizadas.

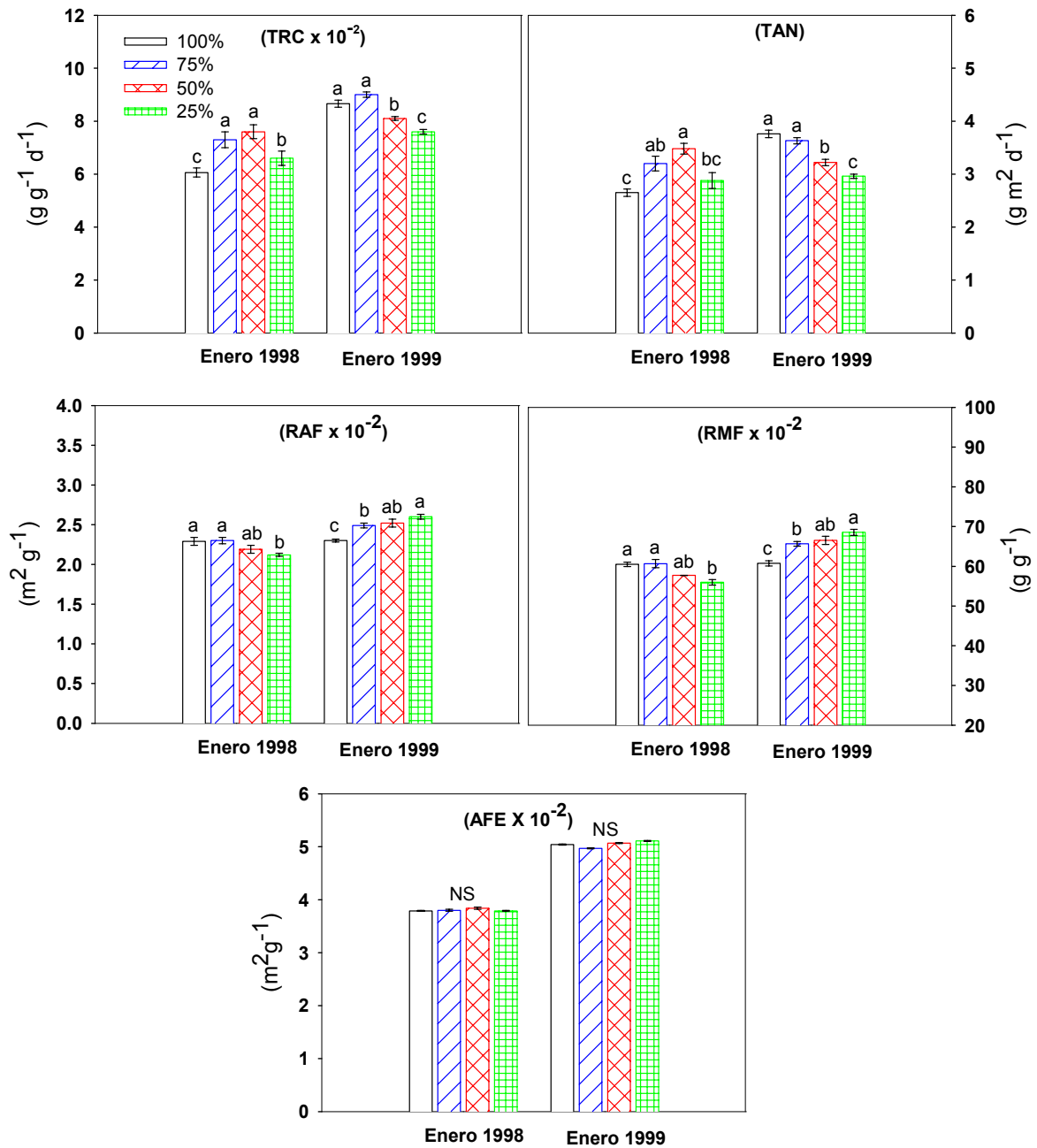


Figura 7. Tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN), relación de área foliar (RAF), relación de masa foliar (RMF) y área foliar específica (AFE) en plantas de albahaca blanca sembradas en enero durante dos años y sometidas a porcentajes fijos de agua calculados a partir del balance evaporación-precipitación, durante las fases emisión del primer par de brotes axilares- aparición de las inflorescencias laterales (30-63 días después de la siembra). Las barras y las letras sobre las figuras representan el intervalo de confianza al 95% y la significación según t-student a $p < 0,05$.

Con respecto a la RAF, se encontró un comportamiento relacionado directamente con las contribuciones que hicieron cada órgano de la planta a la biomasa total y a los valores alcanzados por cada tratamiento en la variable superficie foliar. En el año 1998 las hojas no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos 100% y 75% del balance evaporación-precipitación, pero sí en el año 1999, todo lo contrario sucedió con la masa seca de los tallos, por lo tanto, en el primer año la mayor contribución a las diferencias encontradas en la masa seca total, fue hecha por los tallos y en el segundo año por las hojas.

La variable área foliar específica, justifica en gran medida que las reducciones ocurridas en la biomasa seca de hojas y superficie foliar, fue debido fundamentalmente a caídas de hojas, ya que al no mostrar diferencias significativas entre los tratamientos, descarta la posibilidad de reducción en el tamaño de las mismas.

A partir de estos resultados, las variables TRC y TAN resultaron ser más eficientes para analizar el comportamiento del crecimiento en función de los tratamientos aplicados, mientras que la RAF, RMF y AFE mostraron variaciones o se mantuvieron sin cambios de una fecha de siembra a la otra, que no permitieron hacer una interpretación más definida debido al efecto de aplicar diferentes volúmenes de agua al sustrato.

Los resultados obtenidos demostraron que la TRC, de forma general, describió la correspondencia entre los tratamientos y la producción de biomasa total, tal y como se observó cuando se aplicó el 75% del balance evaporación-precipitación, el cual mostró los mejores resultados en biomasa seca de los diferentes órganos del vegetal, aun cuando no mostró diferencias con los tratamientos del 50% y del 100% en enero del 1998 y enero del 1999, respectivamente, mantuvo estabilidad en cuanto a su comportamiento en los dos años, lo que denota un eficiente crecimiento diario de las plantas que estuvieron sometidas a esa condición.

Echevarria (2002) estudiando diferentes niveles de fertilizante nitrogenado en el crecimiento del cultivo de la albahaca blanca, indicó un crecimiento eficiente evaluado a través de la tasa relativa de crecimiento, resultado que se corrobora

con lo encontrado en este trabajo, aun cuando sólo se manejaron niveles de humedad en el sustrato.

Rodríguez (2001) al estudiar el efecto del déficit hídrico en cuatro especies herbáceas endémicas del mediterráneo comprobó diferencias en cuanto al comportamiento de los indicadores RAF, RMF y AFE, lo cual denota que estos deben ser manejados con precaución a la hora de evaluar el efecto de distintos tratamientos hídricos. El autor citado, encontró que la correspondencia con los tratamientos aplicados fueron dadas por las variaciones de la RAF y el AFE, mientras que la RMF no se modificó en tres de las especies estudiadas.

4.2.1.3.- Aceites esenciales (AES)

Al analizar el comportamiento de los aceites esenciales en las plantas (Figura 8) se observó, de forma general, que a medida que el tratamiento fue más seco, la concentración de los aceites fue superior, con valores que alcanzaron los 7.5 mL de aceites esenciales por kg de masa seca, en el tratamiento del 25% del balance evaporación-precipitación.

Es de destacar que, el abastecimiento hídrico al sustrato influyó en la concentración de los aceites esenciales, así, cuando se cultivó con deficiencia hídrica se encontraron las concentraciones más altas. Esas plantas al estar un mayor tiempo sometidas a menor humedad en el sustrato, provocó un aumento en la concentración de los aceites esenciales, el que superó tres veces al encontrado en el tratamiento control.

Este incremento de aceites esenciales (metabolitos secundarios) tiene su justificación en una determinada limitación del crecimiento (biomasa) dado principalmente por una afectación en el balance del carbono influido por las condiciones hídricas impuestas. Santa Olalla y Valero (1993) en estudios hechos en los metabolitos secundarios, encontraron un aumento en la concentración de alcaloides en *Atropa belladonna* y *Datura stramonium* L. en condiciones semejantes a la de este experimento, lo cual se corrobora con los resultados.

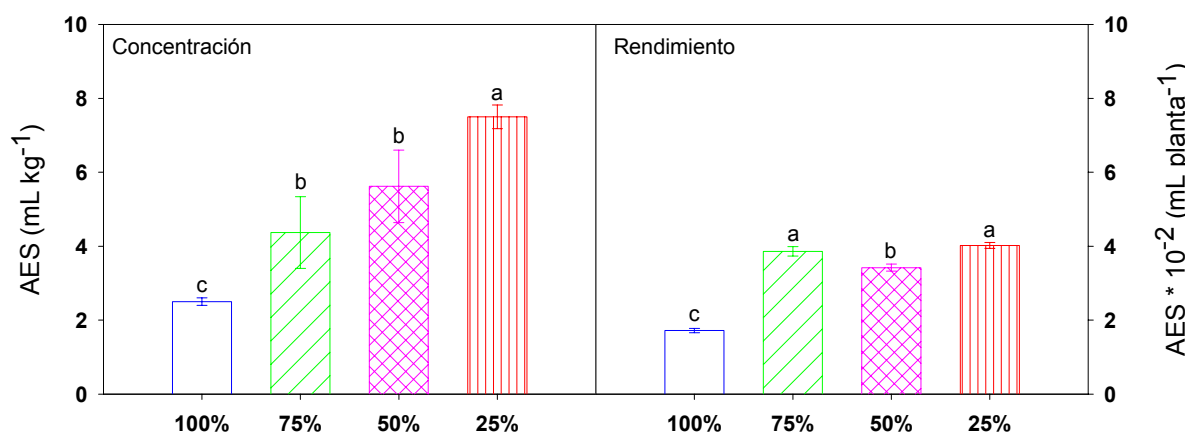


Figura 8. Producción de aceites esenciales de plantas de albahaca blanca sembradas en enero del 1999 y sometidas a porcentajes fijos de agua calculados a partir del balance evaporación-precipitación, en el momento de la cosecha (63 días después de la siembra). Las barras y las letras sobre las figuras representan el intervalo de confianza al 95% y la significación, según t-student a $p < 0,05$.

Por otra parte, en el cultivo de la caña santa (*Cymbopogon citratus* Stapf) Soto (2001) informó que el rendimiento de los aceites esenciales y su calidad no se afectaron con el nivel de humedad del suelo, quizás porque los que el autor estudió (75% y 85% de la capacidad de campo, como límites productivos) no fueron lo suficientemente estresantes para que el metabolismo secundario actuara en respuesta a esa situación de estrés, como han señalado Santa Olalla y Valero (1993).

En otro cultivo no aromático, Alemán (2000) puntualizó que en el girasol (*Helianthus annuus* L.) sembrado en noviembre-diciembre, en condiciones de secano, es donde se obtienen los más altos rendimientos en aquenios y aceites, aspecto en el que influyen las pocas precipitaciones de esa época.

Al expresar el contenido de aceites como rendimiento promedio por planta (Figura 6) éste mostró un comportamiento distinto al analizado en la concentración, con valores mayores en los tratamientos del 75% y 25% del balance evaporación-precipitación y un incremento superior a 2×10^{-2} mL planta⁻¹ en ambas variantes comparadas con el control, respecto al cual mostraron diferencias significativas.

La diferencia encontrada en la afectación de la biomasa foliar entre los tratamientos del 25% y del 50% del balance evaporación-precipitación, fue menor que la producida en la concentración de aceites esenciales, de aquí que

el rendimiento por plantas en el tratamiento del 50% del balance haya sido menor.

Es importante resaltar en esta especie aromática el papel que juegan las hojas en el rendimiento de aceites esenciales, ya que los metabolitos secundarios (fundamentalmente monoterpenos, constituyentes de estos) se encuentran en mayor cuantía en este órgano de la planta, razón principal para buscar la mejor variante donde se alcancen los mayores rendimientos de aceites esenciales y con ahorro del recurso hídrico.

4.2.1.4. Consideraciones generales del experimento

Al aplicar al cultivo bajos porcentajes de agua (50% y 25%) del balance evaporación-precipitación, se redujo considerablemente la biomasa total de las plantas, con disminuciones entre 36.6 y 34.7% en enero 1998 y entre 31 y 42% en enero 1999, con respecto al tratamiento del 75% del balance evaporación-precipitación, que fue de forma general el de mejor comportamiento. De acuerdo con los resultados, los niveles de humedad que se obtuvieron en el sustrato derivados de esos tratamientos constituyeron un factor limitante para que las plantas expresaran sus potencialidades de crecimiento y desarrollo. En la altura de las plantas las reducciones significaron un 30% en el tratamiento donde sólo se aplicó el 25% del balance.

En los dos años de estudio la biomasa seca de los diferentes órganos de la planta, la total y la superficie foliar, resultaron estar relacionadas con los volúmenes de agua aplicados al sustrato. De forma general, en la variante del 75% del balance evaporación-precipitación, las plantas mostraron los mejores resultados, lo que explica que ese nivel resultó óptimo para que logren un adecuado crecimiento y desarrollo.

La capacidad de producir nueva biomasa sobre la existente (TRC) mostró un mejor comportamiento en el tratamiento del 75% del balance evaporación-precipitación, fundamentalmente, debido a que describió la correspondencia entre este volumen de agua aplicado y la producción de biomasa total.

Por otra parte, resultó factible mantener las plantas en condiciones de baja humedad en el sustrato con el objetivo de buscar un incremento de los aceites esenciales, ya que los tratamientos menos abastecidos de agua reflejaron las concentraciones más elevadas. Sin embargo, el rendimiento promedio por

planta al estar relacionado con la producción de biomasa no mostró el mismo comportamiento, por tanto, de acuerdo con los resultados y teniendo en consideración las condiciones en las cuales se desarrolló el experimento, la albahaca blanca, se debe cultivar con un nivel de humedad del 25% del balance evaporación-precipitación, con vista a lograr altas concentraciones en hojas y rendimiento por planta de aceites esenciales, a la vez que se logra minimizar el volumen de agua aplicado.

Con el objetivo de mantener los beneficios de la deficiencia hídrica en el sustrato y buscar una producción estable de biomasa foliar, se consideró oportuno realizar un experimento variando el suministro de agua en diferentes fases fenológicas del cultivo, que permitiera definir las fases más sensibles en cuanto a sus exigencias hídricas.

4.2.2- Aplicación de porcentajes variables de agua por fases a partir de las pérdidas por evapotranspiración

4.2.2.1- Pérdida de agua por evapotranspiración

En la figura 9 se muestra la pérdida de agua por evapotranspiración al someter las plantas a niveles de humedad variables en el sustrato, los valores más elevados, de forma general, correspondieron al tratamiento en que se aplicó el 100% de las pérdidas, en las dos fechas de siembra y fases consideradas, aspecto en el que se destacaron también los tratamientos que presentaron altos niveles de humedad en el sustrato, en la fase C-D y D-E.

Al analizar la pérdida de agua en función del desarrollo de las plantas, se encontró que, de forma general, incrementó con el mismo y en correspondencia con el abastecimiento hídrico dado al sustrato, representado por los diferentes tratamientos. Así en la fase C-D se encontraron los valores más bajos para todos los tratamientos y más acentuado en aquellos que contaron con el más bajo nivel de humedad en el sustrato (40 %) para las dos fechas de siembra y los dos años de estudio. En la fase D-E se obtuvieron los volúmenes de pérdida de agua más elevados en la fecha de siembra de enero y para todos los tratamientos evaluados; mientras que, en la siembra de abril los tratamientos 80-40% y 60-40% del agua disponible en el sustrato,

mostraron iguales valores o con ligera disminución, en relación con el primer período evaluado.

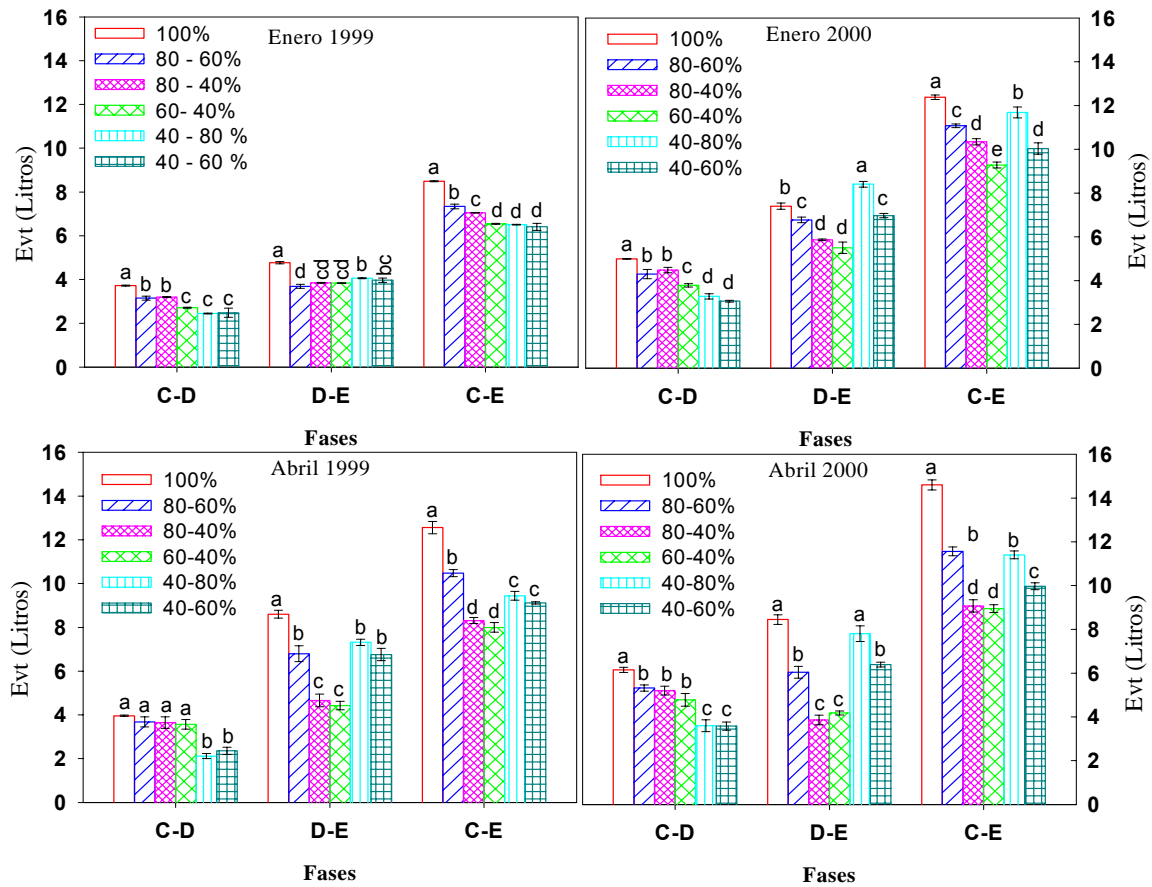


Figura 9. Pérdida de agua por evapotranspiración en plantas de albahaca blanca sembradas en enero y abril durante dos años y que se le aplicaron porcentajes variables de agua durante su ciclo de desarrollo en dependencia de las fases consideradas (emisión del primer par de brotes axilares C, aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo D y aparición de la inflorescencia laterales E). Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Las disminuciones puntuales observadas en los tratamientos que se le aplicó el 40% en la fase D-E (80-40% y 60-40%) en el año 2000, al parecer estuvieron determinadas por una reducción del déficit de presión de vapor (DPV) lo que pudo evitar que en este período se produjera una menor pérdida de agua a través del proceso de evapotranspiración.

El aplicar volúmenes de agua del 40% en el período C-D, corroboró lo señalado en cuanto al transporte del agua en condiciones de poca humedad en el suelo, el que pudo provocar una disminución en la conductividad hidráulica de la raíz (Barrowelough, Peterson y Steudle, 2000; Canny, 2001) dado por afectaciones en la absorción de agua (Steudle y Peterson, 1998; Hose, Steudle

y Hartung, 2000; Steudle, 2001) y en esas condiciones también, se ha encontrado que se rompe la columna de agua de la corriente transpiratoria al estar sometida a fuertes tensiones (Tyree, 1997; Wei, Steudle y Tyree, 1999; Steudle, 2001), lo cual ha limitado las pérdidas de agua vía transpiración.

4.2.2.2. Crecimiento y desarrollo de las plantas

La respuesta de las plantas en cuanto al crecimiento en altura se puede observar en la figura 10. Se destaca, de forma general, que el comportamiento se vio favorecido en el tratamiento que contó con un suministro mayor de agua (100% del agua disponible en el sustrato) lo cual indica la importancia de un buen abastecimiento hídrico hasta la fase de floración en el ápice del tallo.

El período A-C representado en las figuras se corresponde con las fases iniciales del cultivo hasta la aparición del primer par de brotes en el tallo y donde se aplicó el 100% de las pérdidas ocurridas por evapotranspiración.

Al limitarse el suministro de agua hasta 40% de las pérdidas por evapotranspiración en el período C-D, se redujo significativamente el crecimiento en altura, con reducciones también cuando se limitó el suministro hídrico hasta el 60% en los experimentos enero 1999 y 2000 y abril 2000, los cuales al aportar poca humedad, limitaron en gran medida el crecimiento de las plantas. El comportamiento seguido por esta variable indica la sensibilidad del cultivo al déficit de humedad en el sustrato y corrobora lo planteado anteriormente referido a la pérdida de agua por evapotranspiración, la cual fue limitada hasta el inicio de la inflorescencia en el ápice del tallo (C-D) por el déficit hídrico en el sustrato.

El período D-E se caracterizó por no mostrar cambios significativos de la variable de acuerdo con los tratamientos impuestos con relación a las variaciones de humedad, tal es el caso del tratamiento 40-80% de las pérdidas ya que en este período aun cuando fue incrementado el suministro hídrico no experimentó cambio sustanciales, en el sentido que no incrementó su altura significativamente con relación al tratamiento 40-60% que recibió menos volumen de agua en esa etapa.

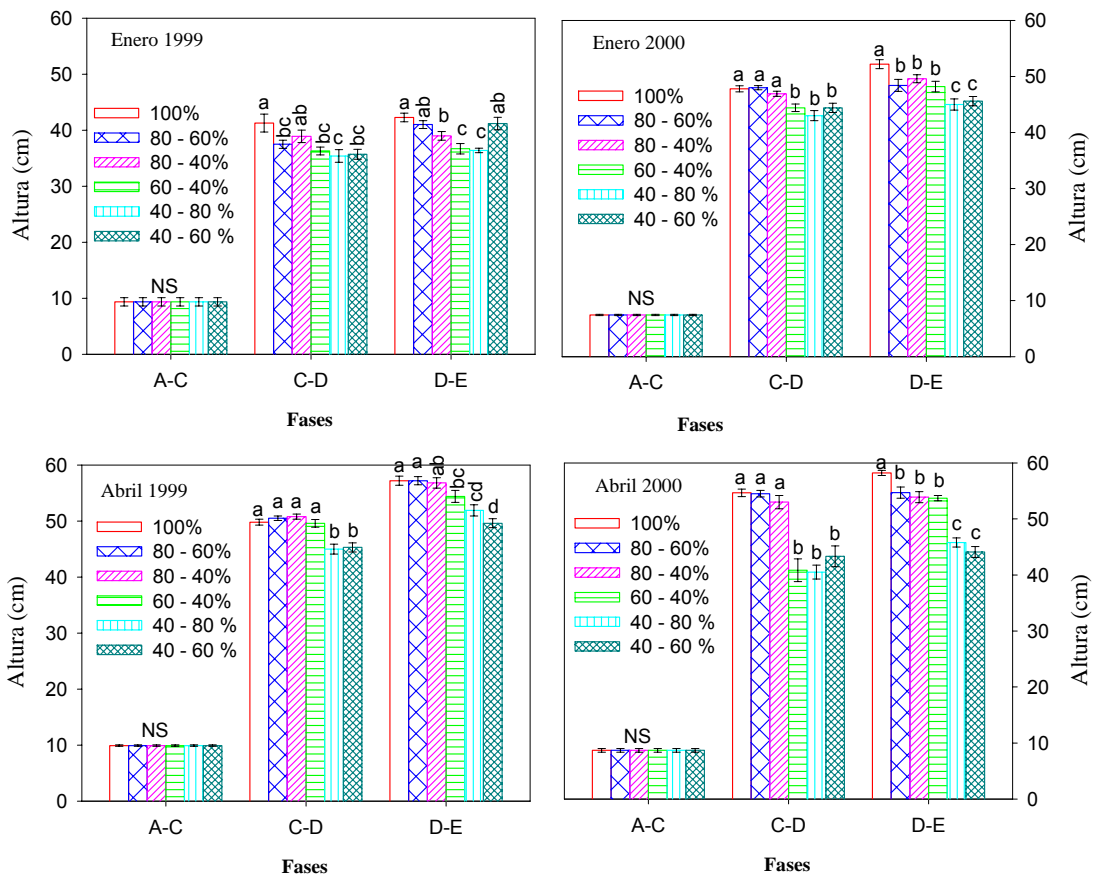


Figura 10. Altura de plantas de albahaca blanca sembradas en enero y abril durante dos años y que se le aplicaron porcentajes variables de agua calculados a partir de las pérdidas por evapotranspiración, en dependencia de las fases consideradas (siembra-emergencia a la superficie del sustrato A, emisión del primer par de brotes axilares C, aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo D y aparición de la inflorescencia laterales E). Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Este comportamiento estuvo dado, fundamentalmente, por el cambio de humedad que se realizó en la fase D donde comienzan a observarse las inflorescencias en el ápice del tallo y a partir de ese momento en el cultivo, ocurre una relativa detención del crecimiento en altura, lo cual sugiere que al menos, teniendo en cuenta este comportamiento en altura de las plantas, se puede disminuir el suministro de agua a partir de este momento hasta la realización del corte, sin que se afecte sustancialmente la variable.

El crecimiento de las plantas ha sido ampliamente estudiado en condiciones de carencias de humedad en el suelo y las respuestas observadas para la variable altura corroboran los planteamientos hechos por diferentes autores, tal es el

caso de Jerez (1991) y Frensch (1998) quienes informaron reducciones del crecimiento en altura cuando fue limitado el suministro hídrico al suelo.

La masa seca de hojas y tallos de plantas sometidas a niveles de humedad variables en el sustrato se presenta en las figuras 11 y 12. Los resultados para estas variables presentaron diferencias significativas en los datos obtenidos en los dos últimos muestreos efectuados (C-D y D-E) y las plantas que contaron con un mayor suministro hídrico (100%) de forma general, lograron una mayor acumulación de masa seca en las hojas y los tallos, lo cual se corresponde con los resultados observados al analizar la altura de las plantas.

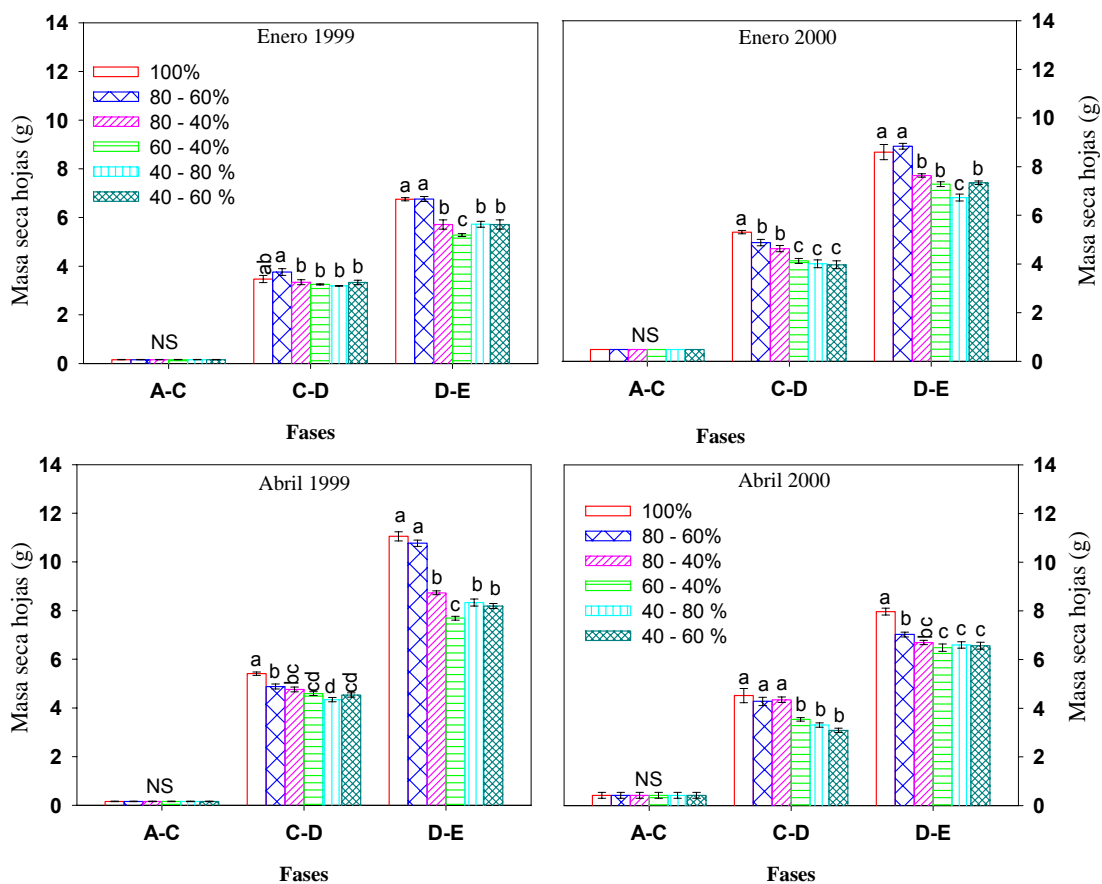


Figura 11. Masa seca de hojas de plantas de albahaca blanca sembradas en enero y abril durante dos años y que se le aplicaron porcentajes variables de agua calculados a partir de las pérdidas por evapotranspiración, en dependencia de las fases consideradas (siembra-emergencia a la superficie del sustrato A, emisión del primer par de brotes axilares C, aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo D y aparición de la inflorescencia laterales E). Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

En los primeros estadios del desarrollo, hasta la fase de aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (C-D) generalmente, se encontraron también resultados semejantes en los tratamientos 80-60% y 80-40% del agua

disponible en el sustrato, que aunque en ocasiones no mostraron diferencias significativas con otros tratamientos, sí manifestaron ligeros incrementos, esencialmente en el caso de las hojas.

Es de destacar que en la fase D-E, no se encontró el mismo efecto con la reducción del porcentaje de agua aplicado al sustrato, ya que cuando esa reducción fue hecha hasta el 40%, la biomasa foliar sufrió más afectación que cuando se mantuvo la humedad en el sustrato a un 60%, por lo que no sería aconsejable reducir las cantidades de agua a aplicar por debajo de ese nivel, para el caso de esta variable en específico.

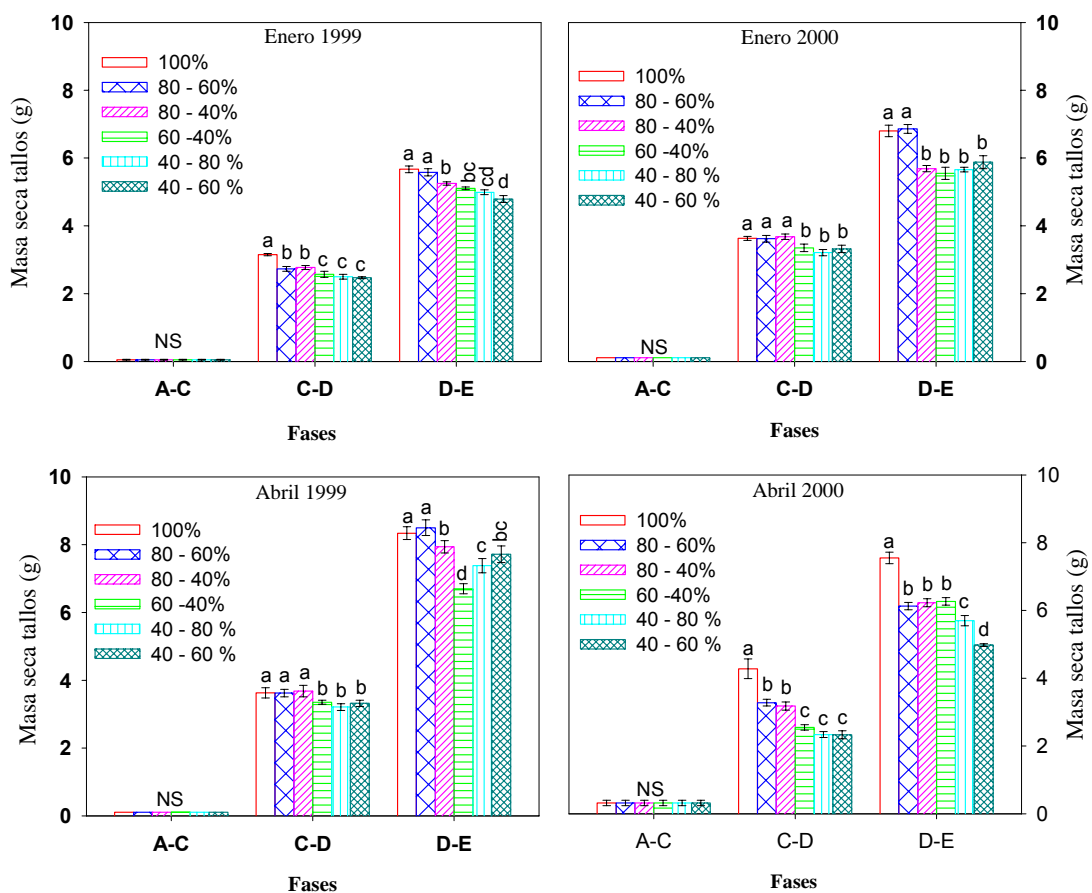


Figura 12. Masa seca de tallos de plantas de albahaca blanca sembradas en enero y abril durante dos años y que se le aplicaron porcentajes variables de agua calculados a partir de las pérdidas por evapotranspiración, en dependencia de las fases consideradas (siembra-emergencia a la superficie del sustrato A, emisión del primer par de brotes axilares C, aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo D y aparición de la inflorescencia laterales E). Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Debido al bajo contenido de humedad en la fase C-D (40%) las plantas reflejaron una menor biomasa aérea (hojas y tallos) lo que reafirma la

susceptibilidad de las primeras fases del cultivo a la deficiencia de agua en el sustrato, resultado lógico si se tiene en cuenta que es durante este período que ocurre el mayor crecimiento vegetativo (aparición de los distintos pares de hojas y brotes en el tallo).

De acuerdo con los resultados, se detectó que la producción de biomasa se afectó de forma considerable cuando la humedad presente en el sustrato disminuyó hasta el 60% y 40%, sobre todo, cuando este nivel de humedad es aplicado en la fase C-D, tratamientos en los que se alcanzaron las producciones más bajas. Este resultado corrobora lo encontrado en los indicadores anteriormente evaluados, tal es el caso de altura de las plantas y la pérdida de agua por evapotranspiración.

En las figuras que se analizan y a diferencia de la variable altura de las plantas, la biomasa seca de las hojas y tallos manifestaron un incremento desde la evaluación realizada en la fase C-D a la realizada en la fase D-E, que están en el orden, en el caso de las hojas de entre 38-49% y 43-51% para la siembra de enero y abril, respectivamente y para el tratamiento del 100%. Esto sugiere una atención priorizada en el manejo hídrico, con vista a garantizar la menor afectación en la biomasa foliar.

A diferencia de la altura, a la biomasa seca de hojas hay que prestarle esmerada atención al nivel de reducción del suministro hídrico, debido a que en la fase D (aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo) se alcanza una alta producción de biomasa, como se explicó en experimentos anteriores y reflejó alta sensibilidad a la deficiencia hídrica en el sustrato, por tanto una disminución hasta el 40% puede conllevar a reducciones significativas en esta variable, principal órgano de reserva de aceites esenciales de la albahaca blanca.

Con respecto a la producción de biomasa, la fotosíntesis pudo verse disminuida por el efecto de niveles bajos de humedad en el sustrato; o que como proceso, la fotosíntesis no se afecte, pero sí la producción de biomasa, debido a que se incrementa la respiración de mantenimiento y disminuye la respiración de crecimiento, afectándose el balance fotosíntesis/respiración, a lo que hay que sumarle el proceso de fotorrespiración (Wingler *et al.*, 1999) por ser este cultivo del tipo C₃.

El efecto que causa la deficiencia hídrica en el suelo al proceso de fotosíntesis ha sido informado por otros autores, entre los que se encuentran Clifford *et al.* (1998) trabajando con *Ziziphus mauritania* y Jagtap *et al.* (1998) en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L); así como Jarvis y Davies (1998) en otras especies, encontraron afectaciones del proceso de fotosíntesis por efecto del déficit de humedad en el suelo.

En la variable superficie foliar (Figura 13) se encontraron resultados similares a los analizados en las variables altura de las plantas y masa seca aérea, al mostrar diferencias estadísticas en los muestreos efectuados, donde hubo mayor suministro hídrico se obtuvieron las mayores superficies foliares. Según los resultados, esta variable se afectó cuando disminuyó la humedad presente en el sustrato, hasta el 40%, fundamentalmente cuando este nivel es aplicado en la fase C-D del cultivo.

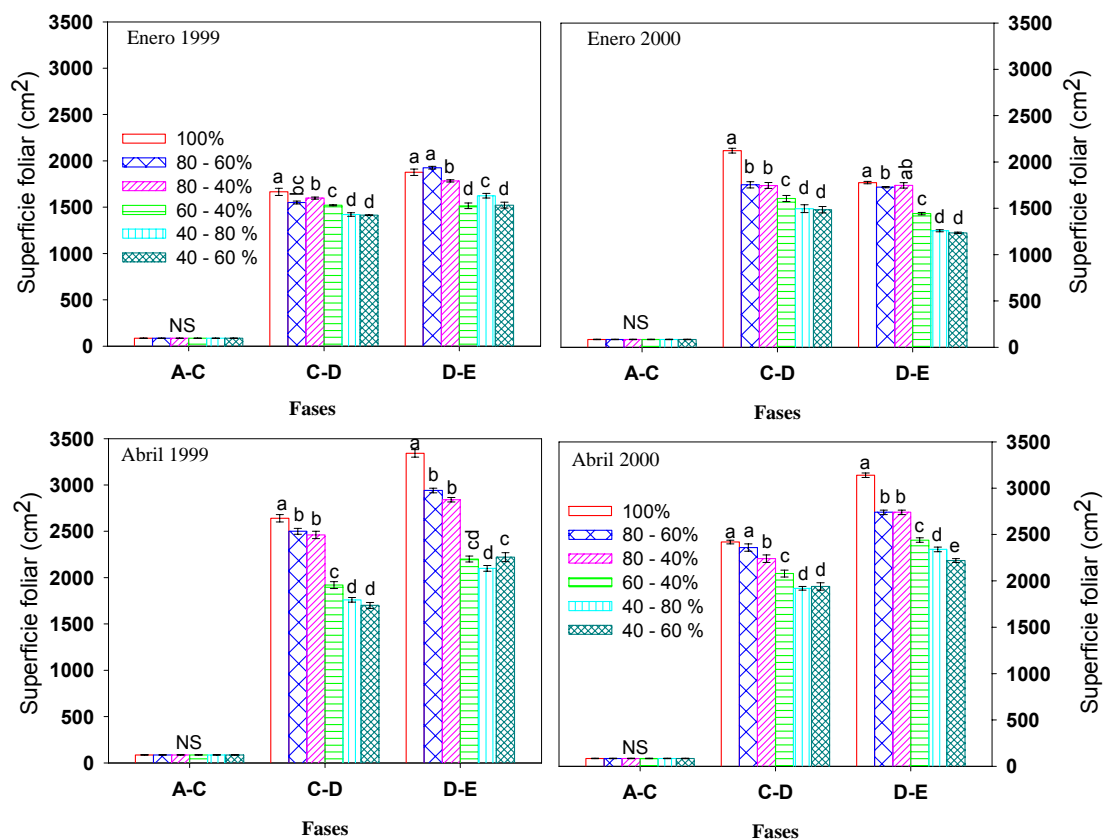


Figura 13. Superficie foliar de plantas de albahaca blanca sembradas en enero y abril durante dos años y que se le aplicaron porcentajes variables de agua calculados a partir de las pérdidas por evapotranspiración, en dependencia de las fases consideradas (siembra-emergencia a la superficie del sustrato A, emisión del primer par de brotes axilares C, aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo D y aparición de la inflorescencia laterales E). Las barras y

las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Estos resultados ponen de manifiesto la estrecha relación que existe entre la producción de biomasa aérea y la superficie foliar, al ser esta última reducida por la disminución del suministro hídrico, con la consiguiente menor absorción de luz y su implicación en el proceso de fotosíntesis.

La variable superficie foliar reflejó reducciones cuando se limita el suministro hídrico al sustrato, fundamentalmente en las fases de máximo crecimiento vegetativo, tal y como ha sido planteado por Simon (1992) en otra especie. En este mismo sentido Lu y Neumann (1998) encontraron, en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) inhibición del crecimiento foliar cuando fue limitado el suministro hídrico.

Por el efecto del déficit de humedad en el sustrato en estos experimentos debieron haberse afectado diferentes procesos fisiológicos, tal es el caso de la fotosíntesis, señalado por Jarvis y Davies (1998) dado fundamentalmente por la reducción de la superficie foliar que experimentaron las plantas de los tratamientos con niveles de humedad más bajos, informado también por Sánchez-Blanco *et al.* (2002) en las especies *Cistus albidus* y *C. monspeliensis*. Este mecanismo lo utilizan algunas especies de plantas para disminuir las pérdidas de agua por transpiración, como señaló Levit (1980) y pudo también estar acompañado de una regulación estomática, ya que es una de las primeras respuestas que experimentan las plantas ante una reducción del contenido de humedad en el suelo.

En la figura 14 se muestra la relación de la biomasa aérea producida y el agua evapotranspirada. La respuesta en la fase C-D se vio favorecida cuando se aplicaron volúmenes de agua reducidos (40%) lo cual se reflejó en la fase D-E, fundamentalmente, en las siembras realizadas en abril. Sin embargo, la eficiencia fue mayor, en la fase D-E, en las plantas que también estuvieron sometidas a niveles bajos de humedad en el sustrato; por lo que de este resultado se desprende que la transpiración pudo haberse afectado en un mayor grado que la fijación de CO₂ y por tanto, hacer que la carencia hídrica afecte poco dicha relación.

Si bien una deficiencia hídrica en el sustrato justificó una mayor relación de biomasa producida/agua evapotranspirada, esto no significó una mayor producción de biomasa aérea, lo que hace necesario evaluar este resultado

desde dos puntos de vista: la mejor relación encontrada con elevada producción y la supervivencia del cultivo a la carencia hídrica en el suelo. De hecho, en estos experimentos se encontró de forma general, la mejor productividad en los tratamientos (80-60%; 80-40% y 60-40%) en los que se garantizaron niveles de humedad igual o superior al 60% en el período C-D y luego fueron reducidos hasta el 60% y 40%, en el período D-E.

Manejar este elemento resulta importante desde el punto de vista de la mejora genética, con el objetivo de conseguir combinaciones de características que aumenten la tolerancia a la deshidratación y una mejor relación biomasa producida/agua evapotranspirada sin pérdida en el rendimiento. En tal sentido Azcón-Bieto y Talón (2001) haciendo una valoración de la eficiencia del uso del agua, plantearon como la mejor combinación, aquella que garantice una alta producción y al mismo tiempo una elevada eficiencia del uso del agua; mientras que, señalaron como un reto difícil, lograr alta producción del vegetal y al mismo tiempo alta capacidad para sobrevivir a las deficiencias hídricas en el suelo.

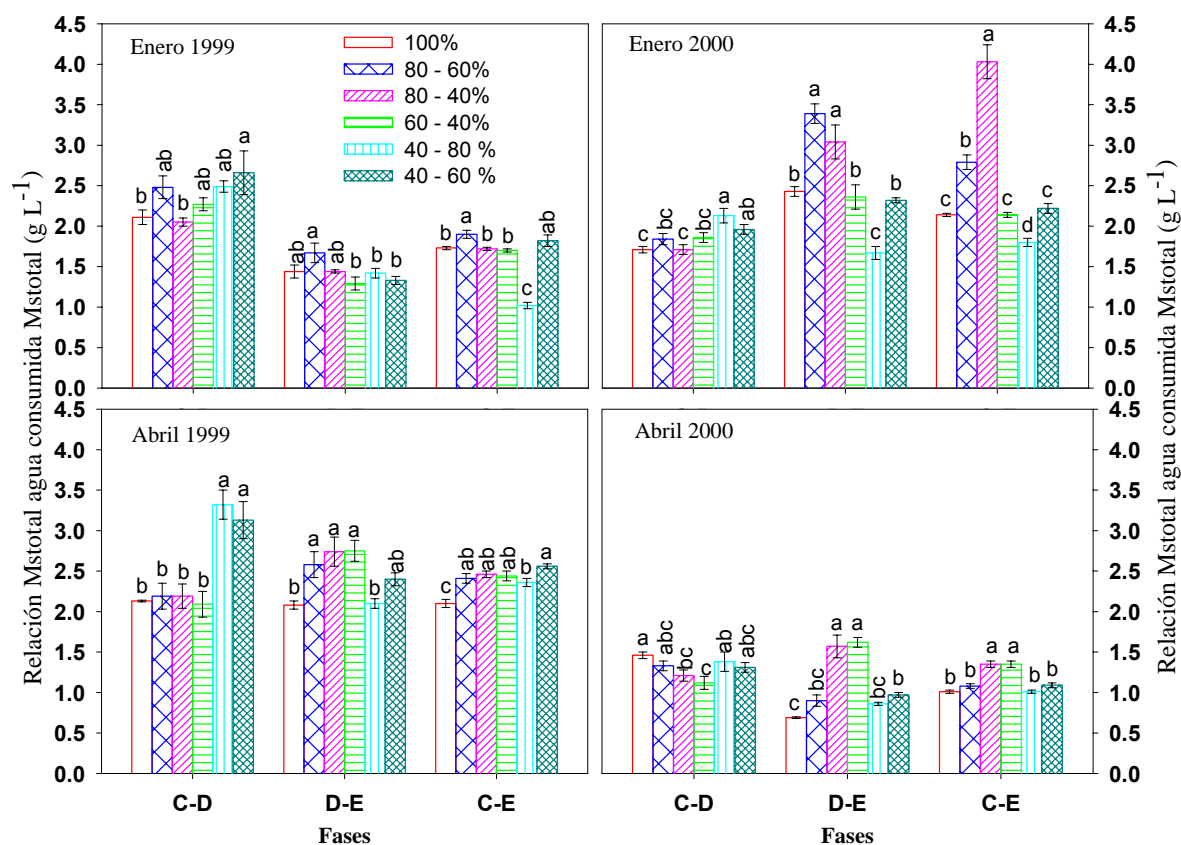


Figura 14. Relación biomasa aérea producida y agua evapotranspirada de plantas de albahaca blanca sembradas en enero y abril durante dos años y que se le aplicaron porcentajes variables de agua calculados a partir de las pérdidas por evapotranspiración, en dependencia de las fases consideradas (siembra-emergencia a la superficie del sustrato A, emisión del primer par de brotes axilares C, aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo D y aparición de la inflorescencia laterales E). Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Resulta interesante destacar que este cultivo, aun cuando es del tipo C_3 , realiza una alta eficiencia en el uso del agua. Si bien en el período que se enmarca desde la emisión del primer par de brotes axilares-aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (C-D) es donde esta especie resultó más sensible a la deficiencia hídrica en el sustrato, también fue donde las plantas sometidas a niveles de humedad más bajos reflejaron, de manera general, la mayor relación biomasa producida/agua evapotranspirada.

4.2.2.3. Consideraciones generales del experimento

En este experimento las variables del crecimiento: altura de las plantas, masa seca aérea, y la superficie foliar, resultaron afectadas por la deficiencia hídrica

a la que estuvieron sometidas las plantas, obteniéndose reducciones en sus magnitudes en la medida que se aplicó menor cantidad de agua al sustrato. Se comprobó que aplicando volúmenes de agua altos en el sustrato (100% y 80% de las pérdidas ocurridas por evapotranspiración) en el período C-D (emisión del primer par de brotes axilares- aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo), se garantiza buena acumulación de biomasa al final del ciclo hasta la fase donde duró el estudio, sobre todo cuando en el período D-E (aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo- aparición de las inflorescencias laterales) la reducción solo sea del 60%, debido a que reducciones en esta etapa hasta el 40% afecta significativamente la masa seca de hojas y tallos.

Por tal razón no es aconsejable provocarle al cultivo deficiencias hídricas en la fase C-D del ciclo de crecimiento y desarrollo, lo cual sí es factible realizar en las subsiguientes fases, de manera que a la especie de albahaca blanca, se le debe garantizar en la fase (C-D) volúmenes de agua entre 80-100% de las pérdidas por evapotranspiración (Etr) y reducir en la fase D-E hasta el 60%.

Se pudo probar que en la fase C-D una deficiencia hídrica en el sustrato evidencia una mayor relación de biomasa producida por agua evapotranspirada, sin embargo, esto no significó una mayor biomasa al final del ciclo. De manera que al buscar la mejor productividad biológica con la mejor relación de biomasa producida/agua evapotranspirada se destacaron, de forma general, los tratamientos 80-60%; 80-40% y 60-40%, que fueron los que les garantizaron a las plantas niveles de humedad igual o superior al 60% en el período C-D y luego fueron reducidos hasta el 40%, en el D-E.

Teniendo en cuenta los resultados de los experimentos anteriores, se pudo constatar que la albahaca blanca resultó considerablemente sensible a la deficiencia hídrica, principalmente en la fase emisión del primer par de brotes axilares- aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (C-D), lo que motivó la realización de un ensayo donde las plantas fueron regadas con diferentes frecuencias (cada uno, tres y cinco días) y se les suspendió el suministro hídrico después siete días antes del corte (aparición de inflorescencias laterales, fase E), con el objetivo de activar algún mecanismo de tolerancia a la sequía, capaz de garantizar una adecuada relación masa foliar y rendimiento de aceites esenciales, con el menor suministro hídrico posible.

4.3.- Mecanismos fisiológicos de respuestas de la albahaca en función del estado hídrico de las plantas

A continuación se analizarán las variables del crecimiento y de las relaciones hídricas en plantas de albahaca blanca que fueron desarrolladas en diferentes frecuencias de riego, con vista a evaluar mecanismos fisiológicos de respuestas de las plantas a las deficiencias hídricas y se comprueban los efectos del riego cada cinco días y la suspensión del suministro hídrico siete días antes del corte, en dos experimentos posteriores.

4.3.1.- Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en plantas de albahaca sometidas a diferentes frecuencias de riego

Después de estudiar los efectos que causó la deficiencia de agua en el sustrato, en el crecimiento del cultivo cuando es aplicado mediante reducciones del volumen de agua durante su ciclo de desarrollo y por fase, en este acápite se presentarán los resultados de los efectos que causó la aplicación de agua con diferentes frecuencias a partir de la fase de emisión del primer par de brotes axilares (C) con suspensión del riego siete días antes del corte, los cuales permitirán evaluar algunos de los posibles mecanismos fisiológicos que las plantas de albahaca sean capaces de desarrollar en esas condiciones.

4.3.1.1.- Dinámica de humedad en el sustrato

En la figura 15 se presentan los niveles de humedad en el sustrato cuando las plantas se sometieron a riego diario (C), a ciclos de riego cada 3 y 5 días y suspensión 7 días antes del corte (C 3 + 7 y C 5 + 7) y a riego diario y suspensión 7 días antes del corte (C + 7). Como se puede observar, los niveles de humedad obtenidos en el tratamiento control se caracterizaron por ser altos y estables, lo que indicó que las plantas permanecieron con una humedad estable (aproximadamente 45% mss) durante todo su ciclo, hasta los 63 días cuando se efectuó el corte.

Sin embargo, los tratamientos donde las plantas fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días, el sustrato mantuvo niveles de humedad bajos (entre 20 y 30 % mss) aunque con determinada estabilidad. Este nivel de humedad, en la última evaluación, fue más bajo, debido al efecto de los siete días finales sin riego a que fue sometido el sustrato; esta es la razón también por lo cual el sustrato en

el tratamiento C + 7 experimentó una significativa disminución en este momento.

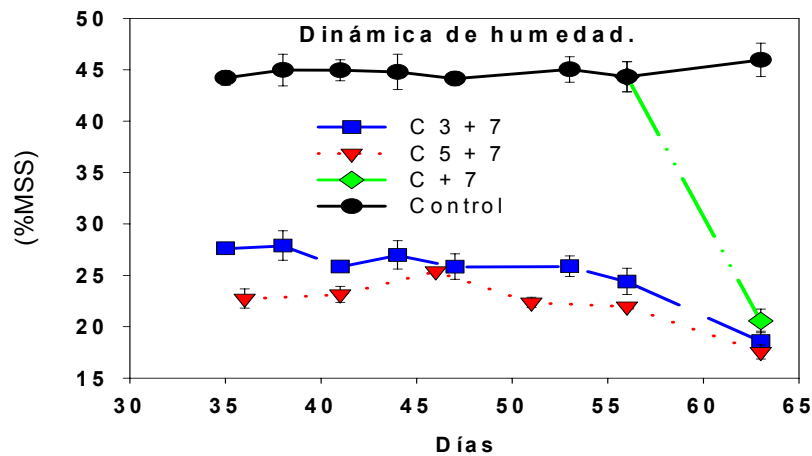


Figura 15. Dinámica de humedad en el sustrato en plantas de albahaca blanca que fueron regadas cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte. Las barras sobre las figuras representan el error estándar.

4.3.1.2.- Crecimiento y desarrollo de las plantas

De acuerdo con los datos de la figura 16, en la que se presenta la producción de masa seca, se observa que las plantas que estuvieron sometidas al estrés severo (riego cada 5 días + 7 días de suspensión final) desarrollaron menor biomasa que las plantas del tratamiento control, dado fundamentalmente por la reducción en la biomasa foliar.

A los 56 días después de la siembra las plantas del tratamiento C 3 + 7 alcanzaron un crecimiento y desarrollo igual a las plantas del tratamiento control en las variables biomasa seca de hojas y tallos, pero superior en la biomasa seca de las raíces. No obstante a lo anterior, la suspensión final del suministro hídrico por siete días, hizo que la variable masa seca de las hojas disminuyera en todos los tratamientos en que las plantas fueron sometidas a ciclos de riego y suspensión final antes del corte, pero de manera más significativa en el tratamiento C 3 + 7 en comparación con el C + 7 y C 5 + 7, si se tiene en cuenta la pendiente que fue de 0.36 g día^{-1} para el tratamiento C 3 + 7; mientras que, solo fueron de 0.16 y 0.08 g día^{-1} en C + 7 y C 5 + 7, respectivamente.

En la variable masa seca de las raíces no se detectó este comportamiento ya que las plantas del tratamiento C 3 + 7 mostraron valores superiores al resto de

los tratamientos. Este comportamiento es un mecanismo primario por el que las plantas ajustan las limitaciones de recursos e incrementan la eficiencia de adquisición de los recursos limitantes, invirtiendo más biomasa en los órganos responsables de su asimilación.

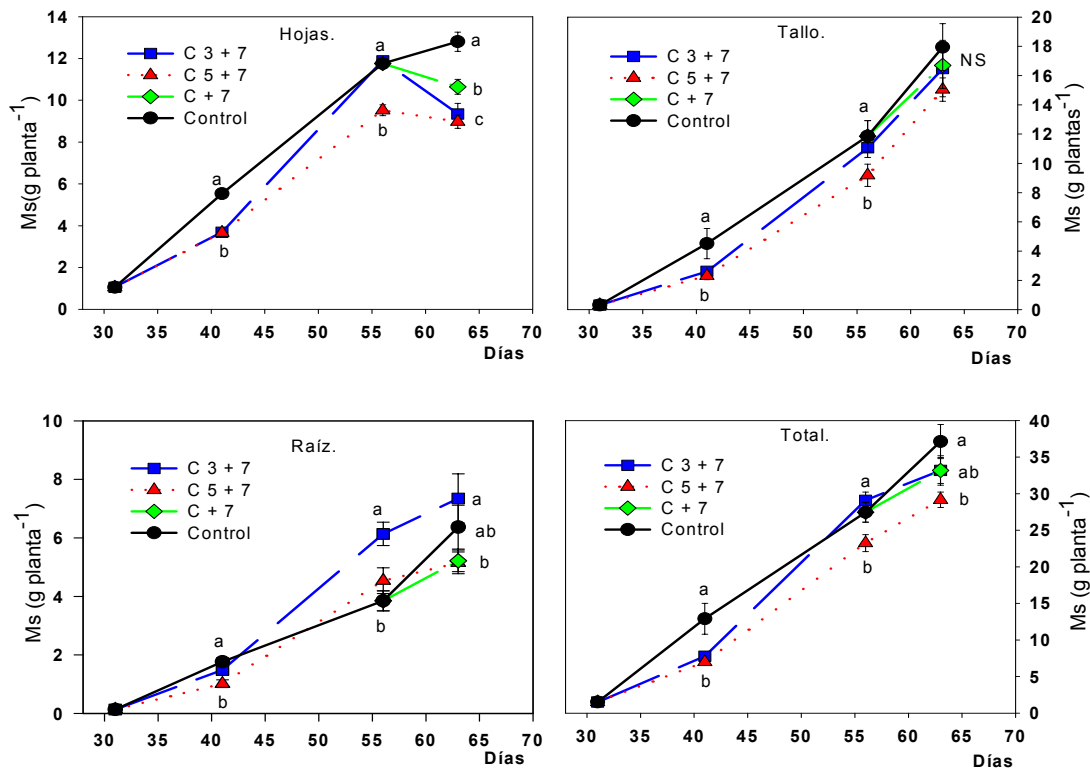


Figura 16. Masa seca de los diferentes órganos del vegetal y total, medida en diferentes momentos del ciclo del desarrollo del cultivo en plantas de albahaca blanca sembradas en enero y que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y 7 días de suspensión del suministro hídrico antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

De acuerdo con los resultados una vez impuestas las distintas condiciones de estrés, las plantas comienzan a desarrollar mecanismos para atenuar esta situación, pero el comportamiento de los órganos del vegetal es diferente, como se encontró en este experimento, todo lo cual sugiere un posible acondicionamiento de las plantas del tratamiento C 5 + 7, ya que la biomasa seca de las hojas fue similar a la del tratamiento C 3 + 7 en el momento del corte, lo que está en correspondencia con lo planteado por Sánchez-Díaz y Aguirreolea (2001) al indicar que una planta está acondicionada cuando es sometida a tratamientos de estrés y es capaz de resistir condiciones más severas posterior a esa situación.

La superficie foliar (Figura 17) a los 56 días fue inferior en las plantas sometidas a riego cada 5 días (C5 + 7) lo que estuvo dado por la presencia de un número menor de hojas. Esta reducción de la superficie foliar contribuyó a la disminución de las pérdidas de agua vía transpiración, aun cuando en este tratamiento las plantas manifestaron marchitamiento de las hojas (Foto 8, anexos). En este comportamiento, otros procesos, tales como la absorción y el transporte de agua a través de las raíces (reflejado por su conductividad hidráulica, como se analizará más adelante) debieron haber influido en dicho comportamiento.

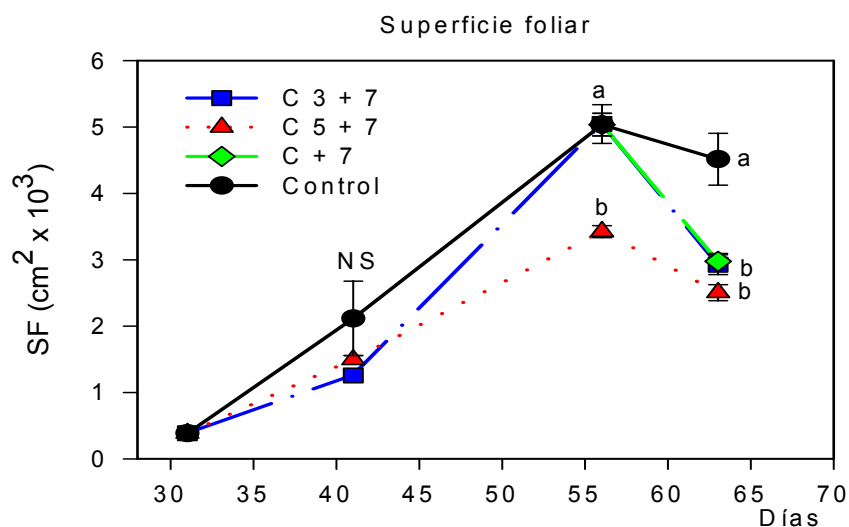


Figura 17. Superficie foliar medida en diferentes momentos del desarrollo del cultivo en plantas de albahaca blanca sembradas en enero y que fueron sometidas a ciclos de riego cada 3 y 5 días y 7 días de suspensión del suministro hídrico antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Como se observa en la figura, en la última evaluación realizada hubo una drástica disminución de la variable en las plantas de los tratamientos C3 + 7 y C + 7, debido a la suspensión del riego por siete días en ese momento del desarrollo del cultivo (aparición de las inflorescencias laterales) lo que provocó una significativa caída de hojas, mecanismo que ya había manifestado el cultivo en experimentos anteriores. Resulta también una respuesta de poca aclimatación a las condiciones de estrés manifestadas por las plantas en esos tratamientos.

Como sucede en muchas especies, la reducción de la superficie foliar en plantas de albahaca blanca sometidas a deficiencias hídricas en el sustrato, es una vía que les permite disminuir las pérdidas excesivas de agua vía

transpiración, lo que coincide con lo planteado por Torrecilla, Guillaume y Alarcón (1995) y Rodríguez (2001) trabajando con otras especies vegetales.

Teniendo en cuenta que en la evaluación realizada a los 41 días, no se encontraron diferencias significativas en la masa seca total y por órganos en los tratamientos impuestos, a continuación se analizarán las variables TRC, TAN, RAF, RMF y AFE en los períodos desde impuestos los tratamientos (30 días después de la siembra) hasta los 56 días después de la siembra y desde los 56 días hasta la cosecha.

La tasa relativa de crecimiento (TRC) de las plantas regada cada cinco días durante todo su ciclo biológico (C 5 + 7) se vio afectada (Figura 18) con una reducción del 7.30% con respecto a las plantas control. En este sentido, Rodríguez (2001) obtuvo porcentajes de reducción en esta variable hasta de un 24% en especies ornamentales. Sin embargo, la tasa de asimilación neta (TAN) manifestó un mejor comportamiento en las plantas sometidas a riego cada 3 y 5 días que en las plantas control, resultado que se debió a que se produjo con mucho menos superficie foliar más biomasa seca total, lo que indica que estas plantas sometidas a las condiciones de estrés antes mencionada fueron más eficientes.

Los resultados demuestran el efecto negativo del déficit de humedad en el sustrato en el crecimiento del vegetal, que también fueron informados por Sánchez-Blanco *et al.* (2002) en especies ornamentales silvestres del mediterráneo, trabajando en condiciones de estrés hídrico.

La relación de área foliar (RAF) la relación de masa foliar (RMF) y el área foliar específica (AFE) de forma general se vieron afectadas por el estrés en el último período evaluado (56-63 días, Figura 18).

Es de destacar que el tratamiento con riego cada 5 días siempre mostró valores menores que el tratamiento control en estos tres índices, lo que indica que esta especie mostró una respuesta positiva ante la condición de déficit hídrico, debido a que disminuyó la superficie y la biomasa foliar para una misma cantidad de biomasa total. También, se apreció que las hojas al disminuir su área foliar específica podían estar evitando una mayor superficie transpiratoria por biomasa de hojas, aspecto que unido a los ya mencionados, ayudan a explicar en cierta medida los resultados obtenidos respecto a la mayor tasa de asimilación neta.

La condición de estrés (C5 + 7) provocó en las plantas una respuesta diferenciada que consistió en una mayor producción de biomasa por superficie foliar (TAN) mientras que manifestaron un área foliar específica menor, lo que indica un nivel de engrosamiento de las hojas o incremento en la concentración de solutos.

La menor producción de biomasa en las plantas estresadas es una consecuencia del efecto del déficit hídrico, ya que de acuerdo con Chaves *et al.* (2002) las plantas en esas condiciones incrementan la producción de ácido abscísico (ABA) siendo la acción inmediata el cierre estomático, por lo que se reduce sustancialmente el grado de asimilación fotosintética de CO₂ (Wingler *et al.*, 1999).

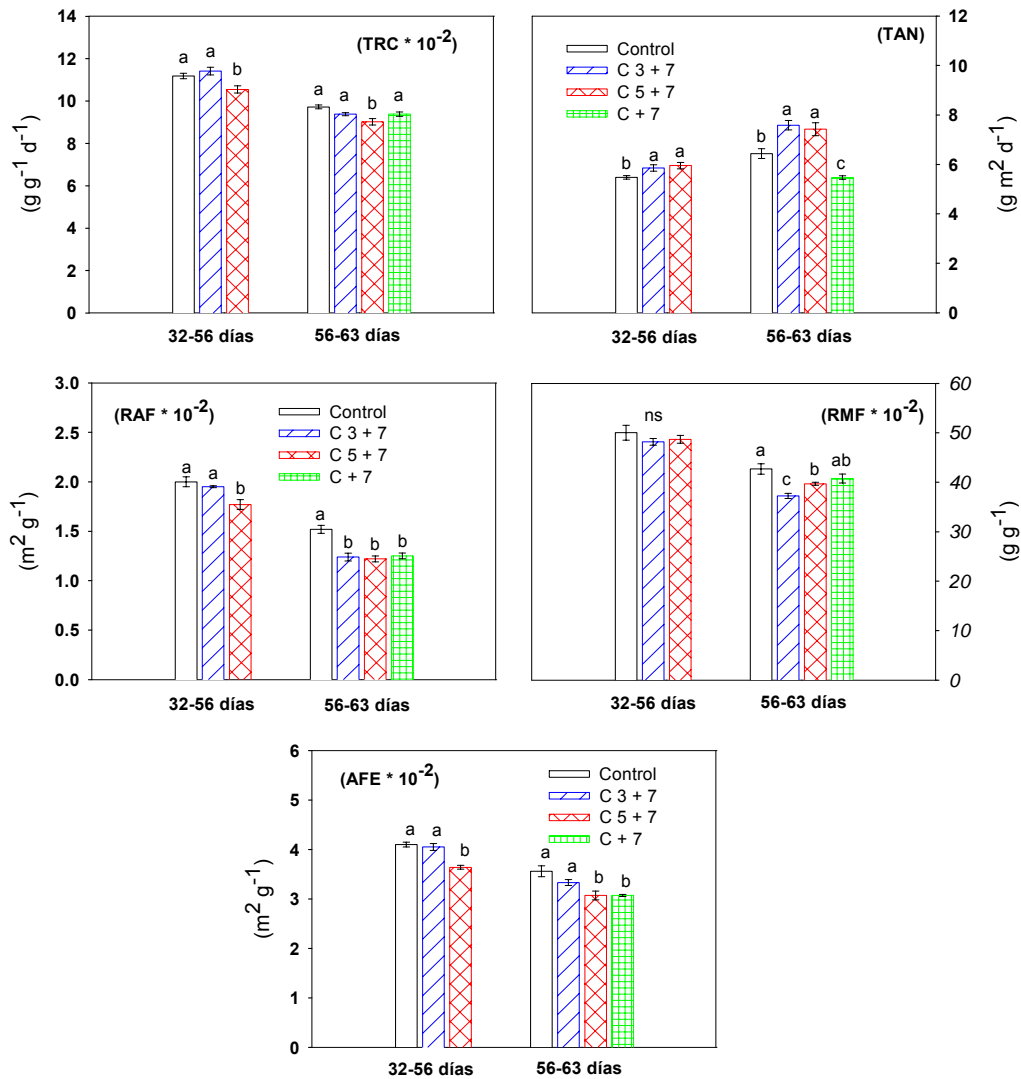


Figura 18. Tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN), relación de área foliar (RAF), relación de masa foliar (RMF) y área foliar específica (AFE) en plantas de albahaca blanca que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y 7 días de suspensión del suministro hídrico antes del corte. Calculada en dos periodo del desarrollo del cultivo 30-56 días (inicio de los tratamientos de riego-fin de los riegos) y 56-63 días (suspensión 7 días final). Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Según estos últimos autores, la fotosíntesis es limitada con un grado de estrés de medio a moderado (contenido relativo de agua por debajo del 70%) o también puede afectarse el balance del carbono por incremento de la fotorrespiración, ya que de acuerdo con Flexas, Escalona y Medrano (1999) la relación ritmo de transporte de electrones/asimilación del CO_2 , se incrementa en plantas estresadas durante la mayor parte del día, el que es consistente con

los incrementos en la temperatura y la fotorespiración, sugiriendo que al menos parte de los electrones no son usados directamente en la fijación del CO₂.

4.3.1.3.- Relaciones hídricas

Durante los primeros 10 días de impuestos los tratamientos de riego, se observó una ligera disminución del contenido relativo de agua (CRA) el potencial hídrico foliar (Ψ_f) y el potencial de presión (Ψ_p) todos medidos al alba (Figura 19) mientras que al mediodía (Figura 20) el Ψ_p mostró valores próximos al punto de pérdida de turgencia en los tratamientos de riego cada 3 y 5 días. A los 56 días después de la siembra, las variables CRA, Ψ_f y Ψ_p sufrieron una considerable disminución en las plantas sometidas a deficiencia hídrica.

Sin embargo, el Ψ_{os} no mostró reducciones en los tratamientos con riego cada 3 y 5 días, en las evaluaciones realizadas a los 41 días y 56 días después de la siembra, solo a los 41 días (Figura 20) el tratamiento C3 + 7 presentó valores inferiores al control; esta variable sólo reflejó diferencias estadísticas de las plantas estresadas con respecto al control durante el último período de estrés (suspensión del suministro hídrico por 7 días) y estas diferencias (aproximadamente -0.25 Mpa) no son considerables desde el punto de vista biológico y termodinámico, lo que denota la incapacidad de las plantas de albahaca blanca para realizar ajuste osmótico, al menos cuando son cultivadas en condiciones similares a las expuestas.

Además, esto se sustenta fundamentalmente, por los valores tan bajos obtenidos en el potencial de presión, medidos tanto al alba como al mediodía, los que en ocasiones alcanzaron magnitudes negativas, resultados que concuerdan con los obtenidos por Kubikova *et al.* (2001) en el cultivo de la albahaca, conllevando a que aun cuando hubo una disminución del potencial osmótico saturado en relación con el obtenido en las plantas del tratamiento control, no se desarrollara el mecanismo de ajuste osmótico.

Con respecto a los valores negativos del potencial de presión Rhyzopoulou (1997) planteó diferentes hipótesis por las cuales se pueden obtener potenciales de turgencia negativos, primero: que los solutos simplásticos pueden disolverse en el agua relativamente pura del apoplasto conduciendo a una turgencia negativa aparente, segundo: pérdida de agua por transpiración y limitación en la entrada de agua desde el suelo por las raíces, corriendo el

riesgo de cavitación y el colapso de la pared celular y tercero: altas tensiones radicales que no pueden ser suplidas por las reservas del suelo y consigue invertirse el sentido del flujo desde las hojas hacia la raíz.

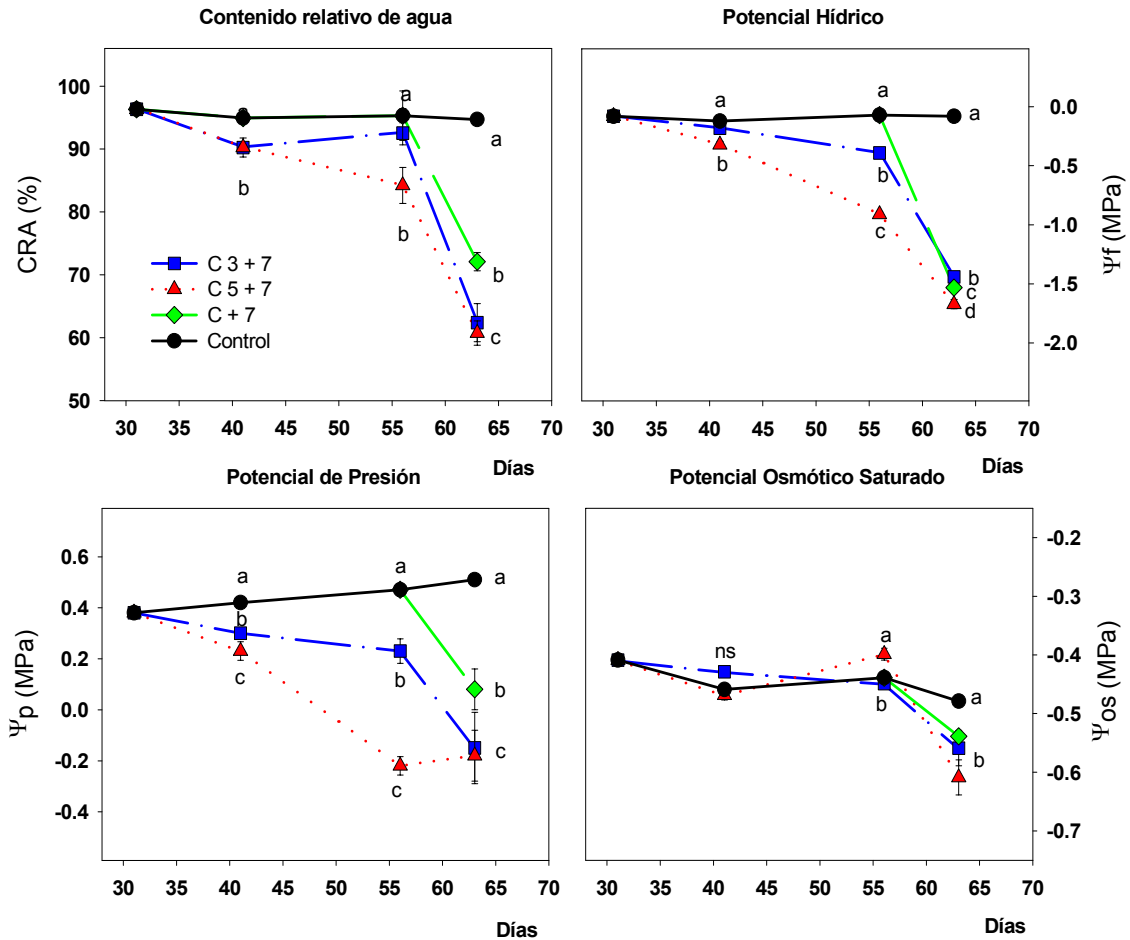


Figura 19. Contenido relativo de agua, potencial hídrico foliar, potencial de presión y potencial osmótico saturado, medidos al alba, en plantas de albahaca blanca que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

También en condiciones de estrés hídrico se obtienen potenciales de presión negativos, debido a un efecto ventosa sobre el interior de las paredes como consecuencia de la contracción vacuolar (Azcón-Bieto y Talón, 2001).

El comportamiento de las diferentes variables que determinan las relaciones hídricas de las plantas reflejaron adecuadamente las diferencias producidas por los tratamientos en las condiciones de humedad del sustrato (Figura 15). Los niveles altos y prácticamente constantes de las variables contenido relativo de agua (CRA) potencial hídrico foliar (ψ_f) y potencial de presión (ψ_p) en las plantas del tratamiento control durante las evaluaciones realizadas demuestran

que éstas estuvieron sometidas a un adecuado suministro hídrico, lo que indica la gran dependencia de estas variables del contenido hídrico en el sustrato. Torrecillas, Guillaume y Alarcón (1995) informaron sobre altas dependencias del potencial hídrico foliar (Ψ_f) respecto a la humedad del suelo, en el cultivo del tomate, lo cual se ratifica con los resultados obtenidos en este estudio.

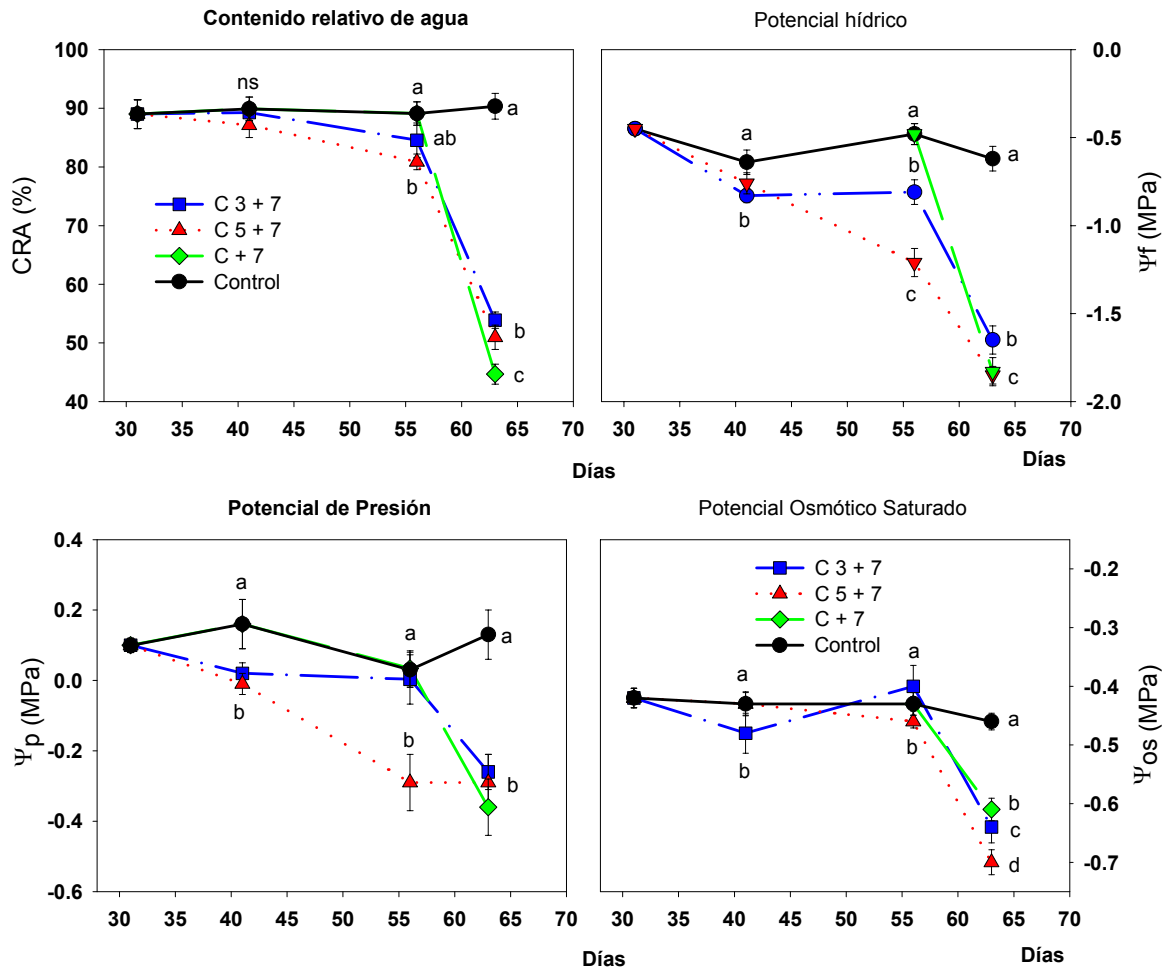


Figura 20. Contenido relativo de agua, potencial hídrico foliar, potencial de presión y potencial osmótico saturado, medidos al mediodía, en plantas de albahaca blanca que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

La evaluación de las relaciones hídricas hasta el momento sugiere que las plantas de albahaca blanca cuando muestran valores del CRA por debajo del 85% y del potencial hídrico foliar de aproximadamente -1.00 MPa manifiestan pérdida de la turgencia foliar, acompañado de cierto grado de marchitamiento de sus hojas (Foto 8, anexos) tal y como se observó en el tratamiento C5 + 7.

La conductividad hidráulica de la raíz (Figura 21) sufrió una disminución significativa en las plantas sometidas a riego cada 3 y 5 días, respecto al tratamiento control, desde la primera evaluación efectuada 10 días después de impuestos los diferentes tratamientos, con reducciones en la variable del orden del 71% en el tratamiento de riego cada 5 días (C5+7) y mostró reducciones hasta de aproximadamente $5 \mu\text{g s}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ (aproximadamente 90%) en la última evaluación realizada y para todos los tratamientos donde las plantas fueron sometidas a suspensión del riego por siete días antes del corte.

La significativa disminución de la conductividad hidráulica de las raíces (L_p) por efecto del déficit hídrico, con la limitación que esto acarrea sobre el transporte de agua, es la causa de la deshidratación de los tejidos foliares (disminución del CRA y los potenciales Ψ_f y Ψ_p) medido tanto al alba como al mediodía, a pesar del importante cierre estomático como se aprecia en la conductancia estomática (Figura 21).

Respecto a la variable L_p , Zwieniecki y Boersma (1997) obtuvieron reducciones hasta de un 60%, inferiores a los obtenidos en este experimento, mientras que Cruz (1992) encontró reducciones del orden del 70%, trabajando en plantas de sorgo expuestas a déficit hídrico, próximo a los encontrados en las primeras evaluaciones en el tratamiento C 5 + 7 (riego cada 5 días).

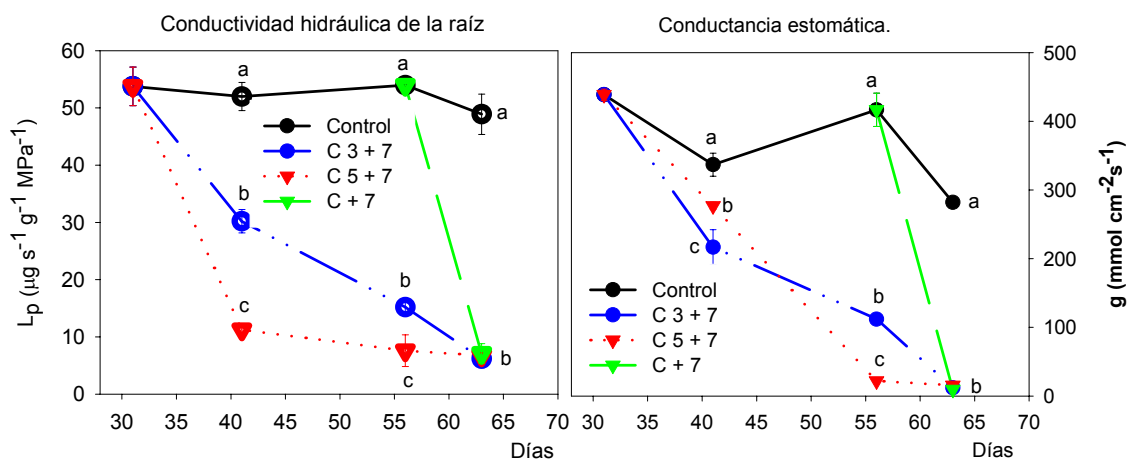


Figura 21. Conductividad hidráulica de la raíz y conductancia estomática en plantas de albahaca blanca que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

También autores como Torrecillas, Rodríguez y Sánchez-Blanco (2003) al trabajar con especies ornamentales silvestres en condiciones de salinidad,

indicaron reducciones en los potenciales hídricos medidos al alba y al mediodía, así como en la conductancia estomática foliar, debido quizás, a la reducción en la conductividad hidráulica de las raíces.

De acuerdo con Jackson *et al.* (2000) los cambios en la conductividad hidráulica de la raíz (L_p) juegan un papel principal en la regulación estomática, aunque la interacción entre la señalización química de las raíces y los cambios en la L_p durante períodos largos de sequía, necesitan de más atención.

La variable conductancia estomática mostró una disminución similar al potencial hídrico, pero de forma más pronunciada, lo que demuestra la estrecha relación entre estas variables, como fue planteado por Markhart y Smit (1990). La conductancia estomática (g_s) reflejó un comportamiento en correspondencia con la disminución de la L_p , debido, fundamentalmente, a que en la raíz es donde primero se perciben los efectos del déficit hídrico y a partir de aquí se envían señales hacia las hojas, a través del ABA, resultando el cierre estomático la primera reacción de las plantas, aspecto informado por Correira y Pereira (1994) al estudiar el estrés de sequía en plantas de lupino (*Lupinus albus*); Clifford *et al.* (1998) en plantas de *Ziziphus mauritiana* (Lamk.) y Tardieu y Simonneau (1998) en la especie *Helianthus annuus* L.

La imposibilidad de mantener la turgencia celular en la albahaca blanca, en estas condiciones, unido al cierre estomático y a las posibles afectaciones que esto pudo ocasionarle al proceso de fotosíntesis debido a la limitación de la fijación de CO_2 , explican las disminuciones en la biomasa seca total del tratamiento C 5 + 7.

El control estomático debido a la pérdida de agua ha sido identificado como un evento temprano en respuesta al déficit hídrico, conduciendo a una limitación de la toma de carbono por las hojas (Chaves *et al.*, 2002). El cierre estomático es causado también en respuesta a la disminución de la turgencia foliar y/o el potencial hídrico o a la baja humedad atmosférica; está frecuentemente más ligado al contenido de humedad en el suelo, que al estado hídrico foliar (Gowing, Davies y Jones, 1990). Esto sugiere que los estomas responden a señales químicas (ABA) producidas por la deshidratación de las raíces (Wingler *et al.*, 1999).

En la figura 22, se presentan las curvas presión-volumen realizadas en el momento del corte y coincidente con la suspensión del riego por 7 días. Los

puntos representados en la curva se ajustaron a una hipérbola y a una ecuación lineal, en la que la primera sección, representa la relación que se da en células turgentes y la segunda sección (lineal) representa la relación para células que han perdido la turgencia.

Los parámetros hídricos derivados de las curvas presión-volumen realizada al final del período de estrés se muestran en las tablas 5 a, b y c. Como se pudo apreciar, el contenido hídrico total (C_{htotal}), la relación masa turgente/masa seca ($R_{Mt/Ms}$), la diferencia entre el potencial osmótico saturado en el punto de pérdida de turgencia (Ψ_{oppt}) y el potencial de turgencia a máxima saturación (Ψ_{os}) no mostraron diferencias entre los distintos tratamientos.

Es de destacar que, el hecho de no encontrarse diferencias significativas entre tratamientos en la relación $R_{Mt/Ms}$, indica que no existió acumulación de solutos en el tejido foliar de las plantas, lo que confirma la no existencia del proceso de ajuste osmótico en las mismas, ya que de acuerdo con lo planteado por Sánchez-Díaz y Aguirreolea, citado por Azcón-Bieto y Talón (2001) los cambios en esta relación se correlacionan acertadamente con cambios en el ajuste osmótico.

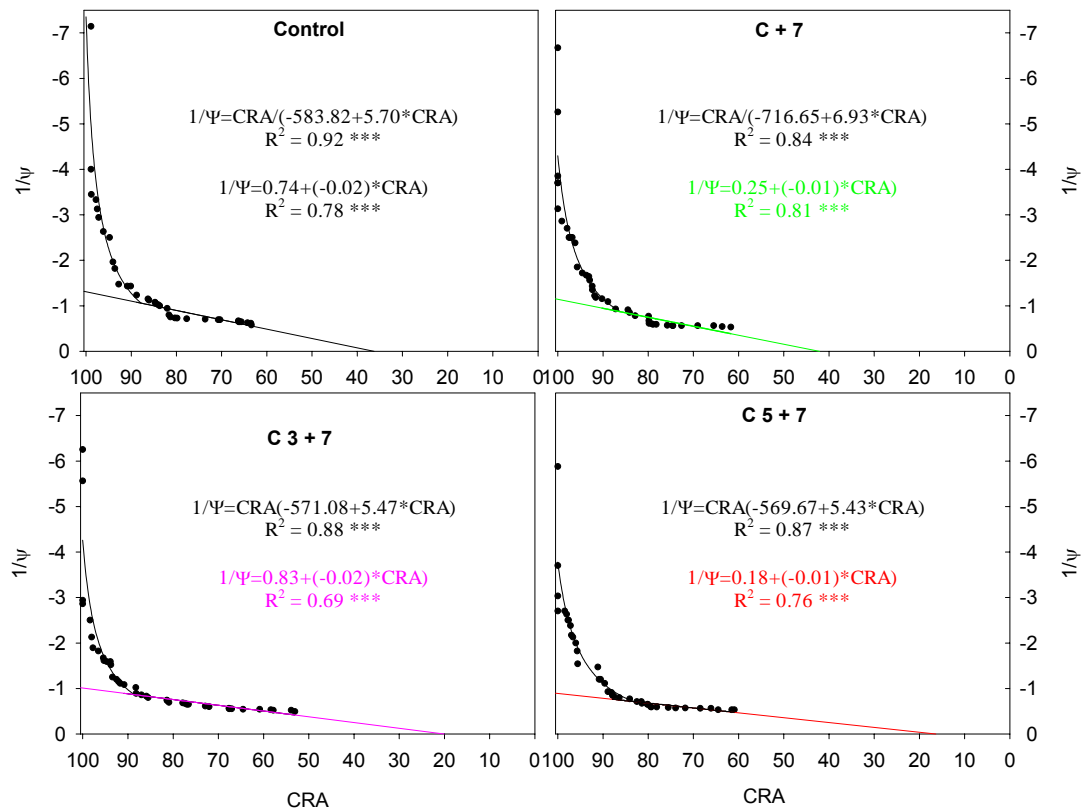


Figura 22. Curvas presión-volumen realizadas en el momento de la cosecha en plantas de albahaca blanca que fueron regadas cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte.

Por otra parte, se encontró que el contenido hídrico apoplástico (Chapop) fue menor en las plantas de los tratamientos regados cada 3 y 5 días. Este comportamiento probablemente no favoreció la resistencia al estrés hídrico, debido fundamentalmente, a que un menor contenido de agua apoplástica (Chapop) en estas plantas puede constituir un rasgo típico de especies poco adaptadas a la sequía (Romero, Botia y Garcia, 2000) ya que se ha señalado que puede funcionar como reservorio y proteger a las células de las pérdidas de agua simplástica y evitar así que las mismas tengan mayor riesgo de deshidratación.

Tabla 5a. Contenido hídrico total (CHtotal, %) relación masa turgente/masa seca (R Mt/Ms, %) y contenido hídrico apoplástico (Chapop, %) obtenido de las curvas p-v en el momento del corte en plantas que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte.

Tratamientos	CHtotal		R Mt/Ms		Chapop		sig
	Media	Esx	Media	Esx	Media	Esx	
Control	88.31	0.22	8.56	0.16	36.34	0.54	b
C 3 + 7	89.05	0.29	9.14	0.25	20.14	0.65	c
C 5 + 7	88.19	1.11	8.62	0.81	16.36	0.72	d
C + 7	89.71	0.72	9.82	0.69	42.16	1.13	a
		ns		ns			***

Tabla 5b. Potencial osmótico a máxima saturación (Ψ_{os} , MPa) y Potencial osmótico en el punto de pérdida de turgencia (Ψ_{oppt} , MPa) obtenido de las curvas p-v en el momento del corte en plantas que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte.

Tratamientos	Ψ_{os}			Ψ_{oppt}		
	Media	Esx	sig	Media	Esx	sig
Control	-0.77	0.03	a	-0.95	0.03	a
C 3 + 7	-0.99	0.02	bc	-1.16	0.03	b
C 5 + 7	-1.12	0.09	c	-1.39	0.02	c
C + 7	-0.88	0.01	ab	-1.16	0.02	b
			**			***

Tabla 5c. Contenido relativo de agua en el punto de pérdida de turgencia (CRAppt %) módulo de elasticidad (E) y diferencia entre el potencial saturado en el punto de pérdida de turgencia y a máxima saturación ($\Psi_{oppt} - \Psi_{os}$ MPa) obtenido de las curvas p-v en el momento del corte en plantas que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y se le suspendió el suministro hídrico 7 días antes del corte.

Tratamientos	CRAppt			E			$\Psi_{oppt} - \Psi_{os}$	
	Media	Esx	sig	Media	Esx	sig	Media	Esx
Control	87.77	0.73	a	5.57	0.57	b	-0.18	0.01
C 3 + 7	88.31	0.78	a	7.60	0.71	a	-0.16	0.01
C 5 + 7	83.47	1.36	b	5.66	0.09	b	-0.27	0.07
C + 7	86.10	0.98	ab	5.52	0.37	b	-0.28	0.03
			*			*		ns

Los niveles de potencial osmótico a máxima saturación (Ψ_{os}) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos impuestos. Las plantas controles presentaron un valor promedio de este parámetro de -0.77 MPa, sin embargo, en las plantas sometidas a riego cada 3 y 5 días se produjo una disminución en los valores que alcanzaron -1.12 MPa en el tratamiento C5 + 7. Este comportamiento se corresponde al analizado anteriormente, pues aun cuando se presentaron diferencias significativas

(aproximadamente -0.35 MPa) no garantizó el mantenimiento de la turgencia celular.

Una conclusión similar fue descrita anteriormente al evaluar este mismo indicador con un osmómetro de presión de vapor, aspecto que corrobora la validez del método de las curvas presión-volumen, para analizar el comportamiento hídrico de las plantas. Al respecto Torrecillas, Guillaume y Alarcón (1995) señalaron en el cultivo del tomate, reducciones del Ψ_{os} en condiciones de estrés por déficit hídrico, aunque ellos sí encontraron ajuste osmótico, lo cual demuestra que este mecanismo no es característico de todas las especies como se ha señalado.

Los valores del potencial osmótico en el punto de pérdida de turgencia (Ψ_{oppt}) fueron superiores a los de los potenciales hídricos foliares medidos al alba (Ψ_a) y al mediodía (Ψ_{md}) en las plantas sometidas a riego cada tres y cinco días (Figuras 17 y 18) lo que justifica la pérdida de turgencia foliar que existió por el efecto del estrés y los potenciales de presión negativos alcanzados en ese momento de evaluación.

Por otra parte, los valores más bajos del potencial osmótico en el punto de pérdida de turgencia, se encontraron en las plantas estresadas. Esta reducción es un mecanismo de resistencia de gran importancia para atenuar la deshidratación, debido principalmente a que las plantas pueden mantenerse turgentes con valores de potencial hídrico y de contenido relativo de agua más bajos; aunque es de destacar que en este experimento, el mecanismo no resultó eficiente, pues el nivel de estrés impuesto condujo a que las plantas llegaran al nivel de deshidratación, como ha sido descrito anteriormente a través del potencial de presión.

El estrés hídrico no afectó los valores del módulo de elasticidad, variable que expresa la relación de los cambios en el volumen celular en respuestas a pequeños cambios en la presión que incide en la célula; los valores permanecieron similares con la excepción del tratamiento de riego cada tres días que incrementó su valor (1.03 MPa), lo que indicó un ligero incremento en la rigidez de la pared celular, resultado que biológicamente poco aporta al nivel de estrés del cultivo. Al no observarse aumentos de la elasticidad en ninguno de los tratamientos comparados, permite afirmar que las plantas de albahaca

blanca no desarrollan mecanismo de ajuste elástico en las condiciones de estrés estudiadas. Resultados similares fueron encontrados por Girma y Krieg (1992) y Torrecillas, Guillaume y Alarcón (1995) quienes trabajando en otros cultivos obtuvieron que el módulo de elasticidad se mantuvo constante con potenciales hídricos bajos, indicando que el estrés hídrico no varió las propiedades elásticas del tejido foliar.

En la figura 23 se muestran los cursos diarios de el CRA, el Ψ_f y el Ψ_p a los 41 y 61 días después de la siembra, momentos distintos del ciclo biológico del cultivo que coinciden con las fases caracterizadas por crecimiento vegetativo a los 41 días (fase intermedia entre la emisión del primer par de brotes axilares (C) y (D) aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo), mientras que a los 61 días, coincide con la aparición de las inflorescencias laterales (E) caracterizada por desarrollo reproductivo.

En el primer caso (41 días) se pueden observar las curvas características de los indicadores Ψ_f y Ψ_p . Los valores más altos se presentaron en las primeras horas del día como consecuencia de la rehidratación que experimentan las plantas durante las horas nocturnas y los valores más bajos en horas del mediodía, donde las pérdidas de agua por transpiración son mayores.

Asimismo, el CRA no reflejó un comportamiento acorde con las variables antes mencionadas, ya que mostró valores bajos a las 15 horas en las plantas sometidas a riegos cada 3 y 5 días, mientras que las del tratamiento control, en ese mismo momento, presentaron los valores más altos.

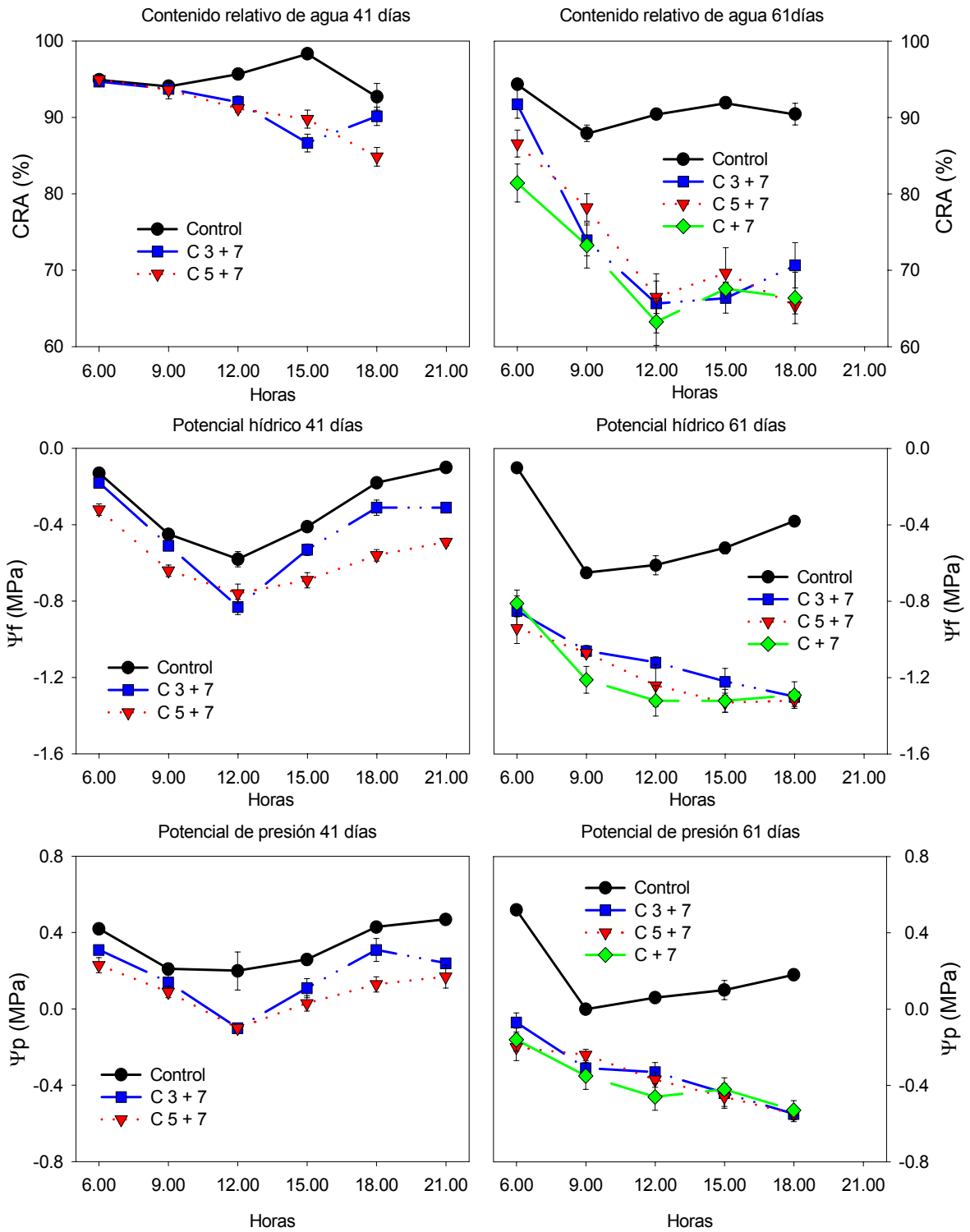


Figura 23. Cursos diarios del contenido relativo de agua, potencial hídrico foliar y el potencial de presión en plantas de albahaca blanca regadas cada 3 y 5 días más una suspensión del suministro del agua 7 días antes del corte en dos fase del ciclo del desarrollo del cultivo emisión del primer par de brotes axilares (41 días) e inflorescencias laterales (61 días). Las barras sobre las figuras representan el error estándar.

Se observó que el comportamiento de cada tratamiento estuvo acorde con el grado de humedad presente en el sustrato. Los valores más bajos en cada variable se corresponden con los tratamientos que representaron los niveles de humedad menores.

Al analizar el curso diario a los 61 días en las distintas variables evaluadas, se pudo observar que mostraron un comportamiento distinto durante el día con respecto al realizado a los 41 días, debido a que los tratamientos sometidos a riego cada 3 y 5 días y suspensión del suministro hídrico 7 días antes del corte, así como las plantas del tratamiento en que solo se le suspendió el riego 7 días antes del corte, no experimentaron recuperación.

El comportamiento diferenciado de los cursos diarios realizados entre las dos fechas, pudiera deberse en primer lugar, a la disponibilidad de agua en el sustrato (Figura 15) y un mayor déficit de presión de vapor (DPV) en el curso realizado a los 61 días (Figura 2, anexos) generado por las condiciones meteorológicas (Figura 1, anexos).

El DPV en el curso realizado a los 61 días excepto en horas de la mañana, alcanzó valores superiores, que el realizado a los 41 días, situación que provocó una alta demanda transpiracional, que incluso el tratamiento control, el cual a pesar de haber estado bien abastecido hídricamente, mostró una marcada disminución de la turgencia foliar y no fue capaz de recuperarse a las 18 horas.

También el superior desarrollo alcanzado por las plantas a los 61 días después de la siembra, propició una mayor pérdida de agua vía transpiración, debido a un mayor desarrollo de la superficie foliar; además, los valores bajos encontrados en la conductividad hidráulica de la raíz (Figura 21) en el momento que se realizó el curso diario, fue otra de las razones que evitó la recuperación de las plantas estresadas.

Resultados similares a los encontrados en este experimento en cuanto al curso diario han sido logrados por Morales, Jerez y Dell'Amico (1991) en los cultivos de papa, tomate y café, los cuales informaron valores altos del \square en las primeras horas del día y los valores más bajos al mediodía. Asimismo autores como Jerez, Torres y Reynaldo (1993) estudiando diferentes cultivares de papa

encontraron que a las 96 horas de tratamiento de estrés, la mayoría de los cultivares no experimentaron recuperación durante el día.

4.3.1.4.- Aceites esenciales

La concentración de aceites esenciales (AES) se muestra en la figura 24, en la que se observa una influencia directa de los tratamientos en el valor de esta variable. Las plantas que estuvieron sometidas a riego cada 5 días (C5 + 7) mostraron una mayor concentración de los aceites en las hojas.

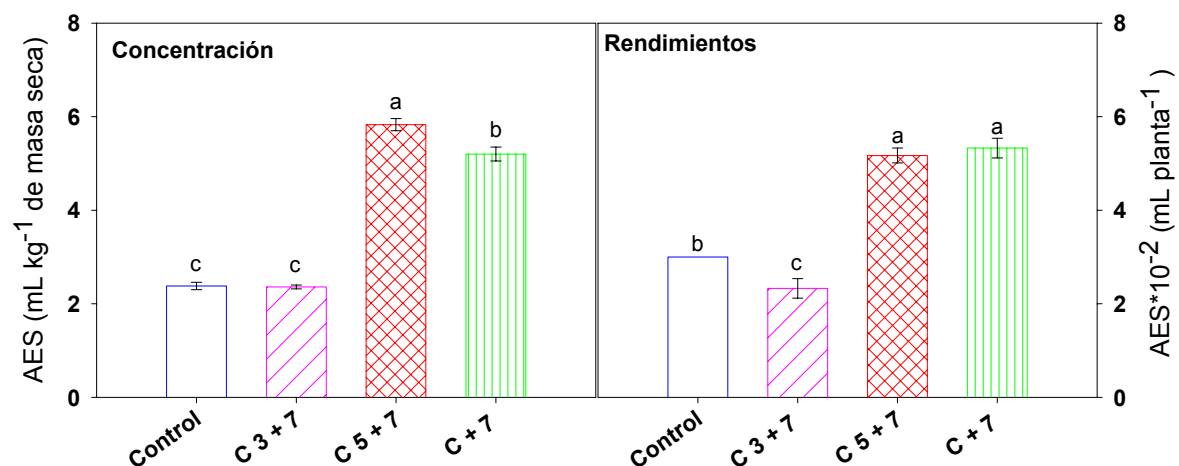


Figura 24. Producción de aceites esenciales en plantas de albahaca blanca que fueron sometidas a riego cada 3 y 5 días y 7 días de suspensión del suministro hídrico antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según Duncan a $p < 0,05$.

Cuando se determinó el rendimiento promedio por planta, también el tratamiento de riego por cinco días más suspensión siete días final (C 5 + 7) mostró valores altos, sin diferencias significativas con el tratamiento en que solo se suspendió siete días de estrés final (C + 7).

La poca concentración y el bajo rendimiento por planta observado en el tratamiento C3 + 7 pudo estar dado a que las plantas sometidas a este nivel de humedad desarrollaron un mecanismo primario para ajustar las limitaciones de recursos, como fue explicado anteriormente. Esto conllevó a que las plantas se comportaran hasta los 56 días después de la siembra, similares a las plantas del tratamiento control.

Mientras que en los últimos siete días sin suministro hídrico, manifestaron una reducción significativa de la biomasa foliar, aspecto que unido a la baja concentración de aceites esenciales explica la disminución del rendimiento.

Estos resultados muestran las ventajas de imponer períodos de deficiencia hídrica al cultivo, fundamentalmente, porque permiten obtener una producción elevada de aceites esenciales por planta, con un considerable ahorro de agua, beneficios que pueden permitir la explotación de este cultivo, con altos rendimientos, en zonas de recursos hídricos limitados.

Los resultados en AES demuestran la factibilidad de estresar las plantas con el objetivo de incrementar los rendimientos ya que representan un beneficio desde el punto de vista de la utilidad esperada en este tipo de especie, pues se alcanzaron valores que duplican al tratamiento control. Estos resultados concuerdan con lo obtenido en el experimento 4.2.1 aun cuando no se desarrollaron en las mismas condiciones.

Si bien se afecta el crecimiento, el desarrollo y las relaciones hídricas al estresar el cultivo, resulta una práctica conveniente para obtener incrementos en la producción de aceites esenciales, desde luego, sin que las afectaciones en la biomasa foliar lleguen a reducir el rendimiento de aceite por planta.

Con el objetivo de utilizar comercialmente el aceite esencial del cultivo de albahaca blanca, Ramírez, Moreno y Murillo (2001) sugirieron como objetivo fundamental, la formación de biomasa seca, sin embargo, con estos resultados se expone la factibilidad del manejo hídrico para el incremento de aceites esenciales, con una determinada disminución en la aplicación del volumen de agua.

4.3.1.5.- Consideraciones generales del experimento

De acuerdo con los resultados encontrados en este experimento se corroboró la sensibilidad de la planta de albahaca blanca al estrés hídrico mediante las reducciones mostradas en la biomasa del vegetal, la superficie foliar y los diferentes indicadores de las relaciones hídricas.

El cultivo de albahaca blanca mostró pérdida de la turgencia celular, cuando el contenido relativo de agua se redujo hasta alcanzar valores por debajo del 85% y el potencial hídrico foliar manifestó valores de aproximadamente -1.00 MPa, lo cual repercutió en la biomasa seca con una disminución superior al 20%.

La curva presión-volumen resultó ser un método adecuado para describir las respuestas del cultivo de la albahaca ante los diferentes niveles de estrés impuestos. Los indicadores obtenidos de la misma identificaron las plantas de

albahaca como una especie poco resistente al estrés hídrico, dado fundamentalmente por las reducciones en el contenido de agua apoplástica y la falta de capacidad para hacer ajuste osmótico y ajuste elástico.

Aunque es cierto que el cultivo se mostró sensible a la falta de agua, es muy importante destacar que se produjeron cambios significativos como los encontrados en la producción de aceites esenciales en las plantas sometidas a riego cada 5 días (C 5 + 7); en las cuales se alcanzaron valores que duplicaban al de las plantas control, en cuanto a la concentración por masa seca foliar y en el rendimiento por planta; resultado que es de trascendental importancia, si se tiene en cuenta que a pesar de todas las afectaciones ya mencionadas, la finalidad de explotación de esta especie consiste en el uso de su aceite esencial. Los resultados obtenidos tienen un significado más práctico, ya que la disminución en el suministro hídrico permite un manejo del cultivo en lugares con baja disponibilidad de agua para el riego.

Teniendo en cuenta los resultados encontrados y considerando que la especie, cualquiera sea el uso que se haga de ella, el mayor valor recae en su aceite esencial, se desarrolló un experimento donde se empleó riego cada cinco días hasta la fase E (aparición de las inflorescencias laterales) con la finalidad de comprobar los beneficios del estrés hídrico y con el significado práctico en la disminución del suministro hídrico.

4.3.2.- Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en plantas de albahaca sometidas a riego cada cinco días

En experimentos anteriores se evidenció que existen afectaciones en el crecimiento, el desarrollo y las relaciones hídricas de las plantas de albahaca blanca en condiciones de deficiencias hídricas, pero que a su vez algunos de los tratamientos impuestos favorecieron la producción de aceites esenciales, en aras de comprobar tales resultados, se analizará a continuación un experimento en el que las plantas son regadas cada 5 días, desde los 25 días después de la siembra hasta el momento de la cosecha.

4.3.2.1.- Dinámica de la humedad en el sustrato

La humedad en el sustrato (Figura 25) muestra que el tratamiento bien abastecido hídricamente presentó valores altos y estables, mientras que

cuando el riego se efectuó cada 5 días, el sustrato mantuvo valores que no sobrepasaron el 30% de humedad durante el período evaluado, lo que indicó que el sustrato se encontraba poco abastecido hídricamente tal y como se perseguía con este tratamiento.

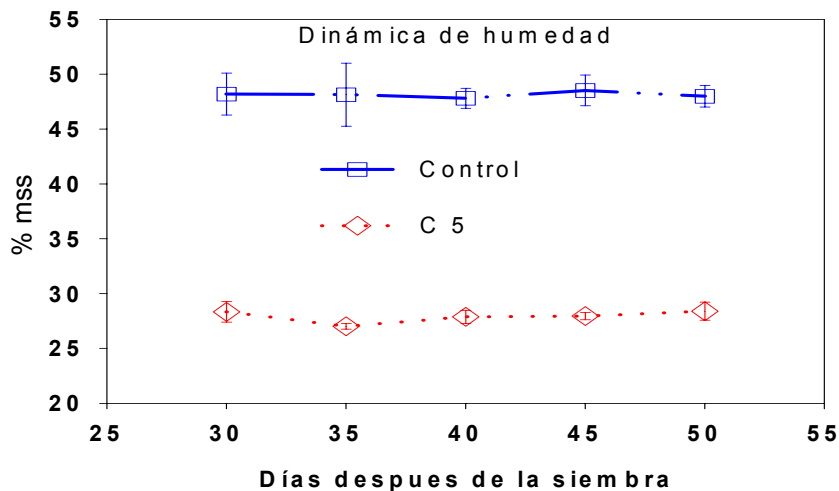


Figura 25. Dinámica de humedad en el sustrato durante el desarrollo del experimento en plantas de albahaca blanca sometidas a riego alterno cada cinco días. Las barras sobre las figuras representan el error estándar.

4.3.2.2.- Crecimiento y desarrollo de las plantas

La aplicación del estrés hídrico en el crecimiento del cultivo provocó una reducción en la biomasa total de las plantas sometidas a riego cada 5 días (Figura 26) resultado que corroboran los ya obtenidos en el experimento anterior. La biomasa seca de la raíz no se modificó por el efecto del tratamiento de estrés impuesto, mientras que la superficie foliar, al igual que la biomasa seca de las hojas, disminuyó en las plantas que se sometieron a riego cada cinco días. De acuerdo con los resultados mostrados, se puede apreciar que fue la masa seca de este órgano la responsable de la reducción de la biomasa total en las plantas estresadas, ya que la masa de los tallos, que es el otro órgano que más aporta a la biomasa total, al igual que la raíces, no experimentó reducciones por el estrés.

Al analizar la reducción mostrada en la variable superficie foliar, se puede definir que la misma estuvo dada por un número menor de hojas, corroborando los resultados que se venían obteniendo en el experimento anterior (4.3.1). Estas reducciones en la superficie transpiratoria, considerada por De Herralde

et al. (1998) y Rodríguez (2001) como un mecanismo que desarrollan las plantas en situaciones de estrés hídrico para evitar las pérdidas excesivas de agua vía transpiración, en el caso del cultivo de la albahaca los resultados señalan que también los cambios de la superficie foliar, pudieron disminuir los efectos negativos del déficit hídrico, si se tiene en cuenta que en las plantas estresadas solo el tejido foliar experimentó reducciones significativas de biomasa.

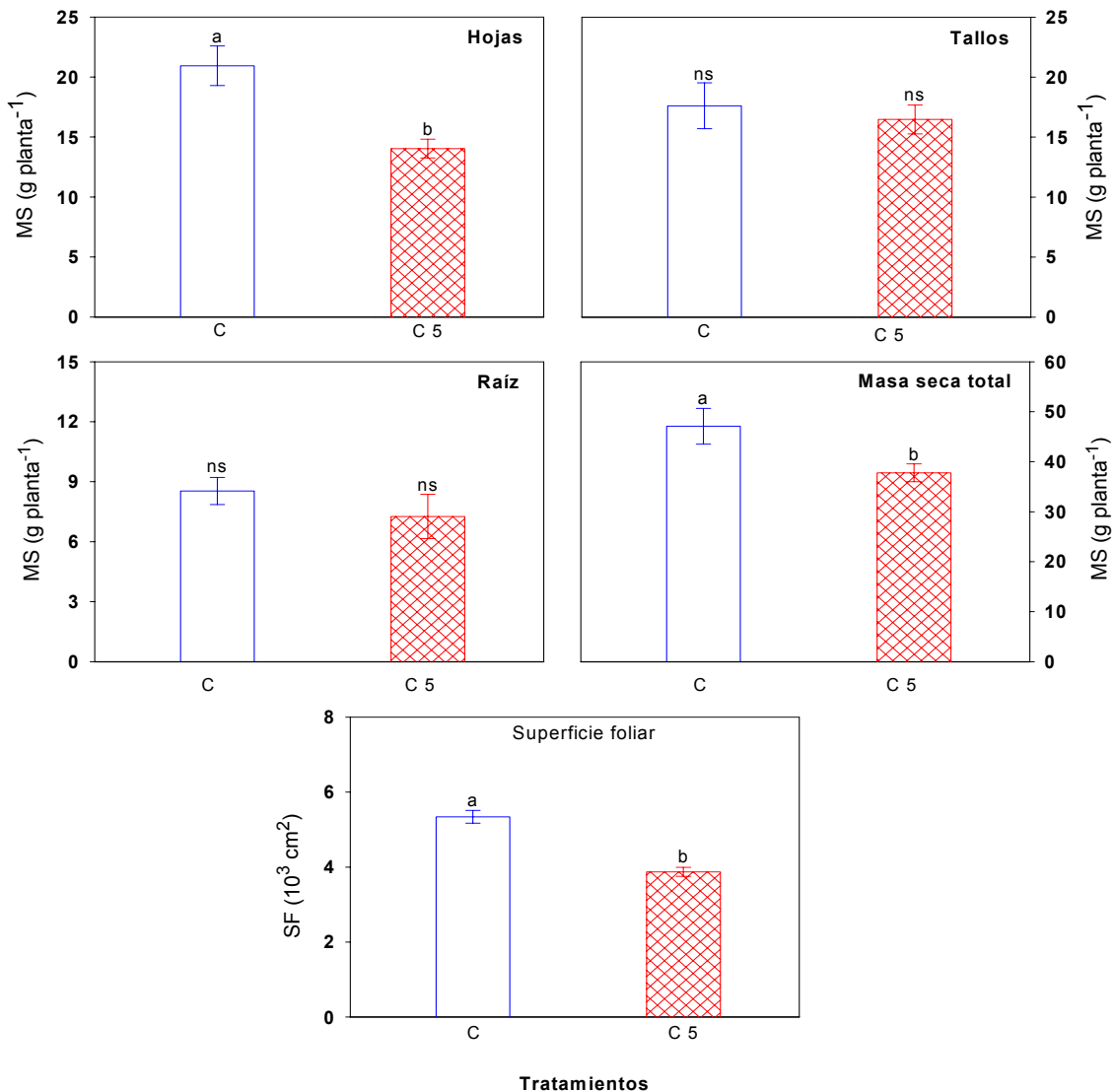


Figura 26. Masa seca de los diferentes órganos del vegetal, masa seca total y superficie foliar, medida en el momento de la cosecha en plantas de albahaca blanca que fueron sometidas a riego cada cinco días. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student.

4.3.2.3.- Relaciones hídricas

La evaluación de las relaciones hídricas en el cultivo (Figuras 27 y 28) mostró que el tratamiento control en este experimento también mantuvo valores altos y constantes en los potenciales hídricos y de turgencia foliar (Ψ_f , Ψ_p) así como en el contenido relativo de agua (CRA), lo que confirmó que las plantas estuvieron bien abastecidas hídricamente.

Cuándo se analizó el comportamiento del tratamiento de riego cada cinco días, se apreció que las plantas llegaron a un nivel significativo de estrés, revelado por las reducciones en los indicadores relacionados con la turgencia foliar, específicamente el potencial de turgencia y el contenido relativo de agua. También los resultados obtenido en las variables hídricas estuvieron respaldados por los bajos niveles de humedad del sustrato encontrado en este tratamiento que se aplicó el riego cada 5 días (Figura 25). Respuestas similares en cultivos hortícola han sido obtenidas por otros autores, entre los que se citan a Dell'Amico *et al.* (2002) trabajando manejo del agua en el cultivo del tomate.

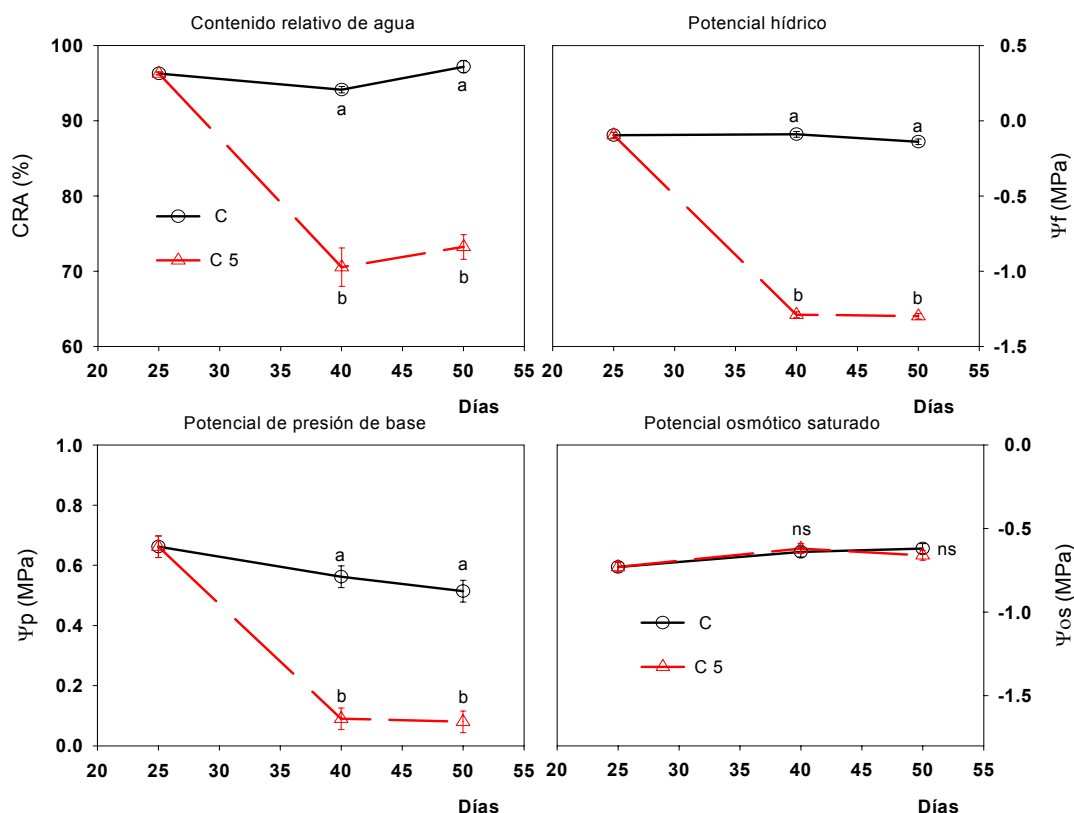


Figura 27. Contenido relativo de agua, potencial hídrico foliar, potencial de presión y potencial osmótico saturado, medidos al alba en plantas de albahaca blanca sembradas en abril y sometidas a riego cada cinco días. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student a $p < 0.05$.

Como fue observado, las plantas del tratamiento de estrés se caracterizaron por una rápida disminución del CRA, el Ψ_f y del Ψ_p lo que sin lugar a dudas, en este experimento se corrobora el efecto negativo que tiene la deficiencia de agua en el sustrato sobre las relaciones hídricas de la albahaca blanca, así como ofrece algunos elementos que describen parte del comportamiento fisiológico del cultivo ante estas condiciones de estrés, entre los que resulta de interés mencionar, la ausencia de ajuste osmótico como mecanismo de respuesta para reponerse ante las condición adversa impuesta.

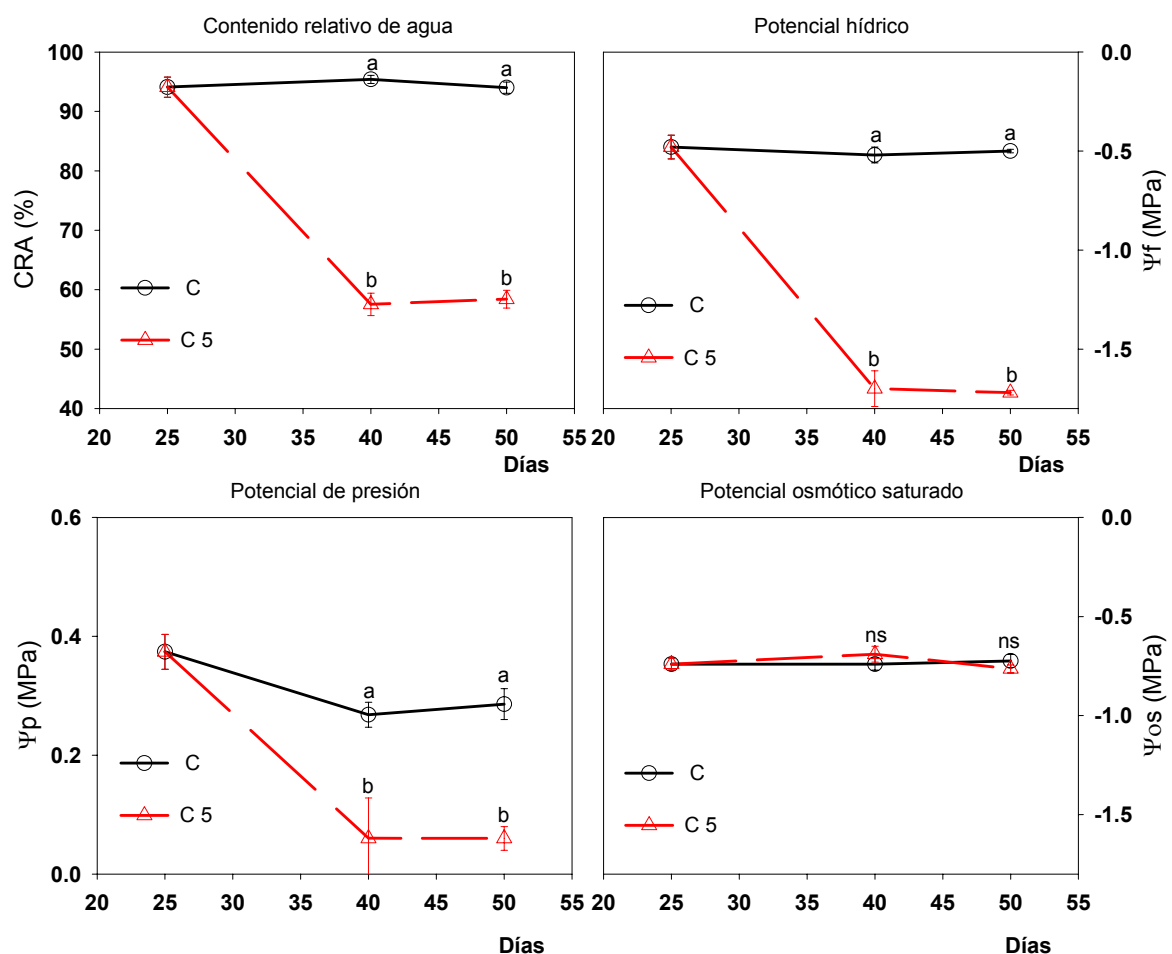


Figura 28. Contenido relativo de agua, potencial hídrico foliar, potencial de presión y potencial osmótico saturado, medidos al mediodía en plantas de albahaca blanca sembrada en abril y sometidas a riego cada cinco días. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student a $p < 0.05$.

Asimismo, la conductividad hidráulica de la raíz también manifestó cambios significativos en las plantas sometidas a riego cada 5 días (Figura 29), con

reducciones de aproximadamente el 70% respecto a las plantas del tratamiento control. Este resultado es lógico si se tiene en cuenta que la raíz es el primer órgano en recibir el efecto de la deficiencia hídrica en el sustrato y según lo planteado por Steudle, (2000) también es donde se emiten las primeras señales que son transmitidas a la parte superior del vegetal.

Por otra parte, las reducciones en la conductividad hidráulica se pueden deber a la alta sensibilidad de las raíces secundarias (tejido muy joven y principal responsable de la absorción del agua) a las condiciones estresantes que se crean en el sustrato cuando la humedad disminuye a valores tan bajos (menor del 30%), lo que pudo ocasionar afectaciones irreversibles en el xilema, disminuyendo por esa causa la absorción y el transporte de agua y convirtiéndose, en gran medida, en las responsables de los resultados encontrados.

El aumento en las resistencias de las raíces al paso del agua fue otra coincidencia con el experimento anterior y es también considerada una de las razones más importantes para explicar las reducciones significativas en los indicadores del estado hídrico de las plantas en el tratamiento donde las mismas fueron sometidas a riego cada cinco días.

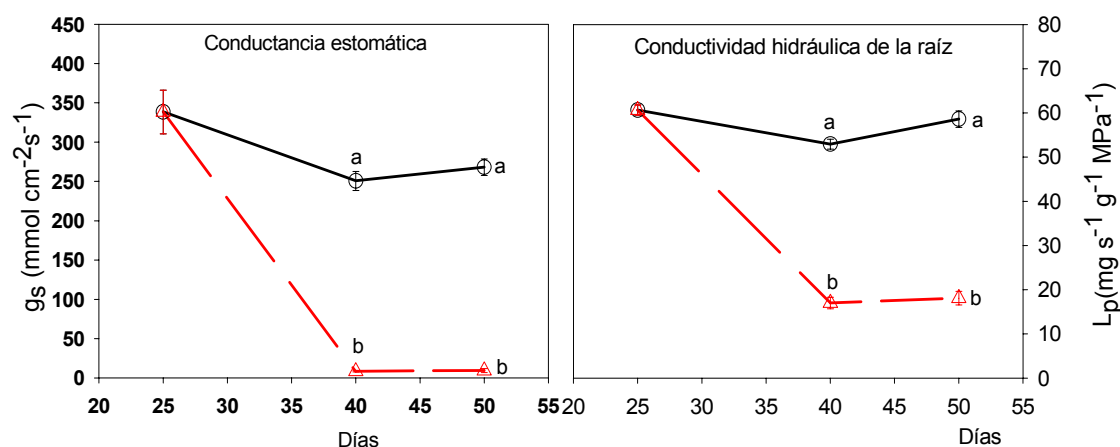


Figura 29. Conductancia estomática y conductividad hidráulica de la raíz en plantas de albahaca blanca sembradas en abril y sometidas a riego cada cinco días. Líneas continua control y líneas en puntos C 5. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student a $p < 0.05$.

La conductancia estomática en las plantas del tratamiento con riego cada 5 días (Figura 29), al igual que la mayoría de los indicadores evaluados, disminuyó de forma pronunciada en la primera evaluación después de aplicado tres riego (40 días después de la siembra), valores que se mantuvieron

constantes hasta el momento del corte. Estos resultados corroboran los expuestos en el experimento anterior (4.3.1) y coinciden con los informados por Huang y Gao (1999) quienes en otros cultivos encontraron cierre parcial de los estomas y reducción en la producción de biomasa cuando la humedad del suelo fue inferior al 67% de la capacidad de campo.

Es muy probable que las afectaciones desde un inicio en la apertura de los estomas estuvieran determinadas por las señales emitidas desde las raíces en el momento de iniciarse el estrés, así como por la baja conductividad hidráulica que no era suficiente para restablecer las pérdidas por transpiración y mantener así la turgencia, con lo cual se habría garantizado al menos una apertura parecida de los estomas.

Sobre la baja absorción y el transporte de agua desde el sustrato hacia la parte aérea del vegetal por causa de los bajos niveles de humedad en el mismo, así como el comportamiento del aparato estomático, coincide lo expresado por Markhart y Smit, (1990) al evaluar estos indicadores en experimento con condiciones análogas a las que se han descritos.

De acuerdo con los resultados, el estrés hídrico promovió diferencias significativas entre las plantas estresadas y el control en las relaciones hídricas y en el intercambio gaseoso. Estas respuestas fueron debido a que el factor especie no presentó mecanismo de tolerancia y evitación eficiente al no poder mantener el estatus hídrico de las plantas en las condiciones estudiadas. Monneveux y Velassen (1996); De Herralde *et al.* (1998) señalan que las plantas sometidas a estrés hídrico pueden presentar mecanismo de tolerancia y evitación a través del ajuste osmótico, el decrecimiento en el potencial hídrico foliar, la reducción de la superficie foliar y la disminución de la conductancia estomática, lo que les permiten mantener el estado hídrico al vegetal.

4.3.2.4.- Aceites esenciales

La concentración de aceites esenciales (Figura 30), corroboró los resultados que se venían apreciando en este tratamiento durante el experimento anterior. Sin dudas las plantas estresadas mostraron mayor rendimiento de este metabolito (AES) que las plantas bien abastecidas hídricamente (control), es importante enfatizar que la concentración de aceites en las plantas sometidas a

riego cada 5 días, estuvo en el orden de 1.42 mL kg^{-1} de masa seca por encima de las plantas del tratamiento control, lo que representa alrededor de un 30% de incremento.

El rendimiento promedio por planta manifestó un comportamiento similar a lo mostrado en la concentración, mayor en el tratamiento estresado, el cual presentó valores en torno a los $8 \times 10^{-2} \text{ mL planta}^{-1}$. Sobre los beneficios del estrés hídrico para elevar la concentración y el rendimiento de aceites cuando las plantas son sometidas a deficiencia hídrica Charles, Joly y Simon (1990) obtuvieron incrementos significativos en el cultivo de la menta.

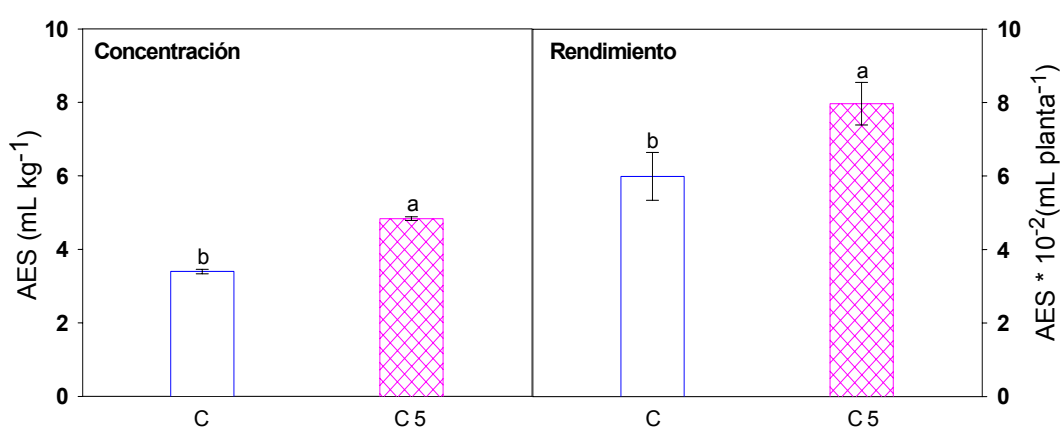


Figura 30. Producción de aceites esenciales en el momento del corte, en plantas de albahaca blanca sembradas en abril y sometidas a riego cada cinco días. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student a $p < 0.05$.

Los resultados encontrados en este experimento en aceites esenciales (AES) sostiene el criterio anteriormente abordado en cuanto a la factibilidad de sacrificar la síntesis de metabolitos primarios mediante el estrés hídrico, para garantizar incrementos en la síntesis de los metabolitos secundarios, fundamentalmente los terpenos y dentro de ellos los monoterpenos y sesquiterpenos, los cuales constituyen los aceites esenciales.

Como se ha venido señalando, en este experimento, se corrobora la factibilidad de estresar las plantas con el objetivo de aumentar su rendimiento sin dejar de atender la producción de biomasa foliar, aspecto que fue sugerido por Salisbury y Ross (1994).

4.3.2.5.- Consideraciones generales del experimento

Al finalizar el experimento se dejó bien definido que los resultados encontrados en el tratamiento de riego cada 5 días, se corroboran con los obtenidos en el experimento anterior (4.3.1).

Los análisis de biomasa demostraron que las plantas sometidas a riego cada cinco días presentaron afectaciones significativas en relación a las plantas del tratamiento control, comprobándose que el estrés hídrico afectó el crecimiento de las plantas de albahaca blanca.

Haciendo un análisis general de las variables de las relaciones hídricas evaluadas, se puede plantear que en este experimento se observó un efecto diferenciado de las plantas sometidas a riego cada cinco días con respecto al tratamiento control. Se corroboró el efecto perjudicial que tuvo el someter las plantas a esas condiciones, llegando a mostrar reducciones en los potenciales próximos a la pérdida de turgencia y un cierre parcial de los estomas. Se ratifica la susceptibilidad de la albahaca blanca al déficit hídrico y la incapacidad de realizar ajuste osmótico.

Sin embargo, como se ha ido mencionando en los experimentos anteriores, en estos resultados también se ratifican los beneficios que provoca el déficit hídrico para incrementar la producción de aceites esenciales en el cultivo de la albahaca y se corrobora la posibilidad de utilizar el tratamiento de riego cada cinco días (C 5) como una alternativa posible para obtener altos rendimientos de aceites en el cultivo de la albahaca con un gasto mínimo de agua.

Hasta el momento se han estudiado distintas formas de imponer el estrés, resulta oportuno también comprobar la respuesta del cultivo a la suspensión del suministro hídrico por siete días antes del corte, una vez que las plantas han alcanzado su fase de mayor crecimiento.

4.3.3.- Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en plantas que se le suspendió el suministro hídrico por siete días antes del corte

4.3.3.1.- Crecimiento y desarrollo de las plantas

El comportamiento del crecimiento en altura de las plantas se presenta en la figura 31. Como se puede observar las plantas sometidas a la suspensión del suministro hídrico no mostraron diferencias significativas con respecto a las

plantas del tratamiento control, resultado que estuvo influido fundamentalmente por el desarrollo que mostraron las plantas cuando se aplicó el estrés. Al haber alcanzado en ese momento prácticamente su máximo crecimiento, es de esperar entonces poca variación en el comportamiento de la variable.

En la producción de biomasa seca de las hojas (Figura 31) se encontró una reducción en las plantas sometidas a suspensión del riego por siete días antes del corte, mientras que la masa seca de los tallos, no resultó afectada por el tratamiento de estrés impuesto, ya que no se encontraron diferencias entre los tratamientos, resultado que corrobora los encontrados en experimentos anteriores respecto a estos dos indicadores.

El hecho de someter las plantas a un período de siete días de deficiencia hídrica antes del corte, parece ser la causa que impidió que la variable masa seca del tallo disminuyera por efecto del tratamiento, aspecto en el que tiene que ver el estado de desarrollo alcanzado por las plantas en ese momento, mientras que en la variable masa seca de las hojas, se observó todo lo contrario, debido fundamentalmente a pérdida de las hojas ocasionada por la aceleración en el proceso de senescencia y abscisión de las mismas en condiciones de estrés, lo que coincide en este caso con los resultados obtenidos por De Herralde *et al.*, (1998) trabajando en condiciones similares en otro cultivo hortícola.

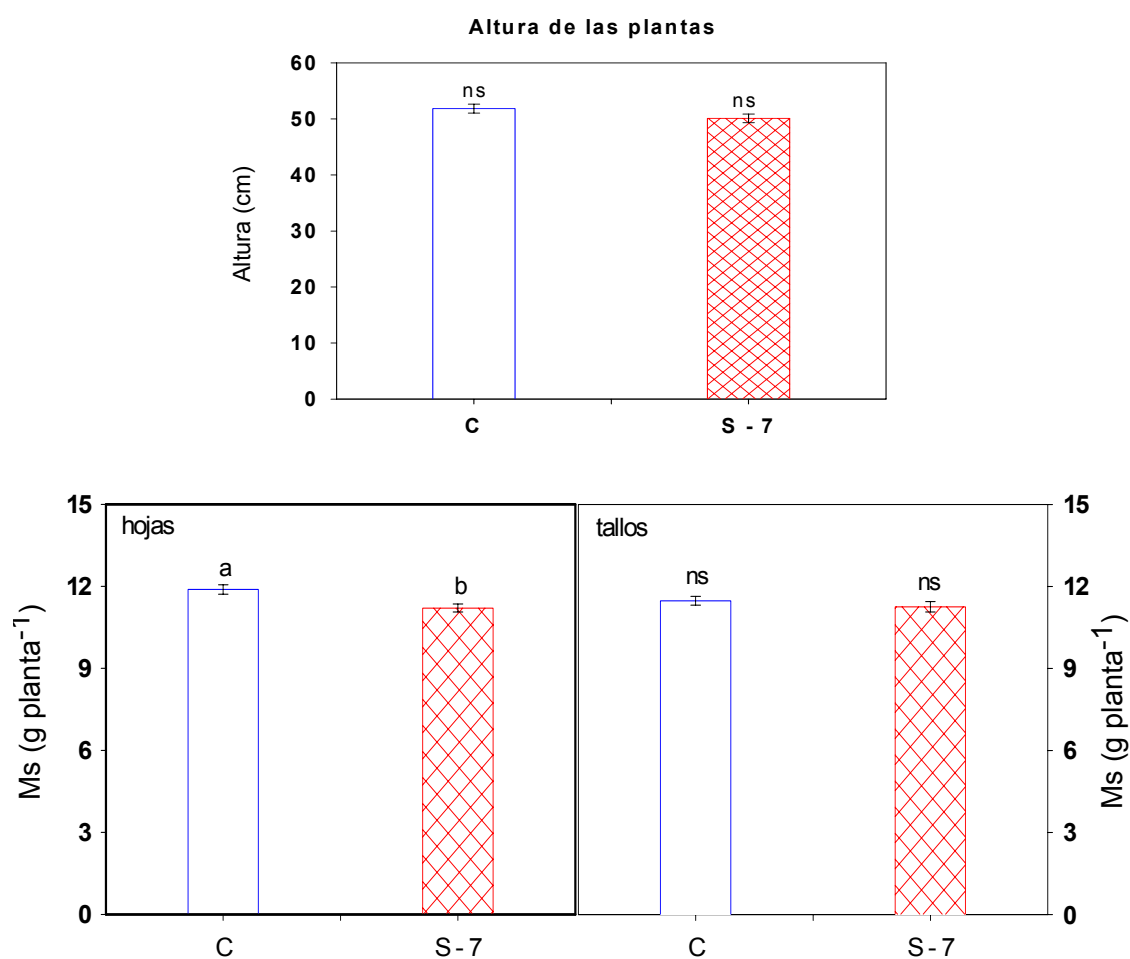


Figura 31. Altura de las plantas y masa seca de hojas y tallos en el momento del corte en plantas de albahaca blanca que se le suspendió el suministro hídrico por siete días antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student a $p < 0.05$.

Es de interés destacar que en experimentos analizados anteriormente, aun cuando las plantas de albahaca fueron sometidas a períodos de estrés en momentos iniciales del crecimiento y desarrollo, se encontraron resultados en la biomasa seca de hojas y tallos con el mismo comportamiento mostrado en este experimento, indicando que, cualquiera sea la forma y el momento en que se imponga la deficiencia hídrica en el sustrato, la biomasa seca foliar resulta ser de forma general, significativamente más sensible que la biomasa seca del tallo.

4.3.3.2.- Relaciones hídricas

Se observó que el contenido relativo de agua en las hojas en el momento de iniciar los tratamientos alcanzó valores altos (mayores del 90%) y las plantas

controles mantuvieron ese estado durante el período evaluado, lo que demuestra que estaban bien abastecidas hídricamente (figura 32).

La variable CRA ha sido relacionada con el potencial hídrico foliar en plantas sometidas a deficiencias hídricas en el suelo, informándose una estrecha relación entre ambas variables (Ebel *et al.*, 1997), por lo que es de esperar que si el potencial hídrico cambia por efecto del tratamiento de estrés, también lo hará el contenido relativo de agua, como sucedió en este experimento.

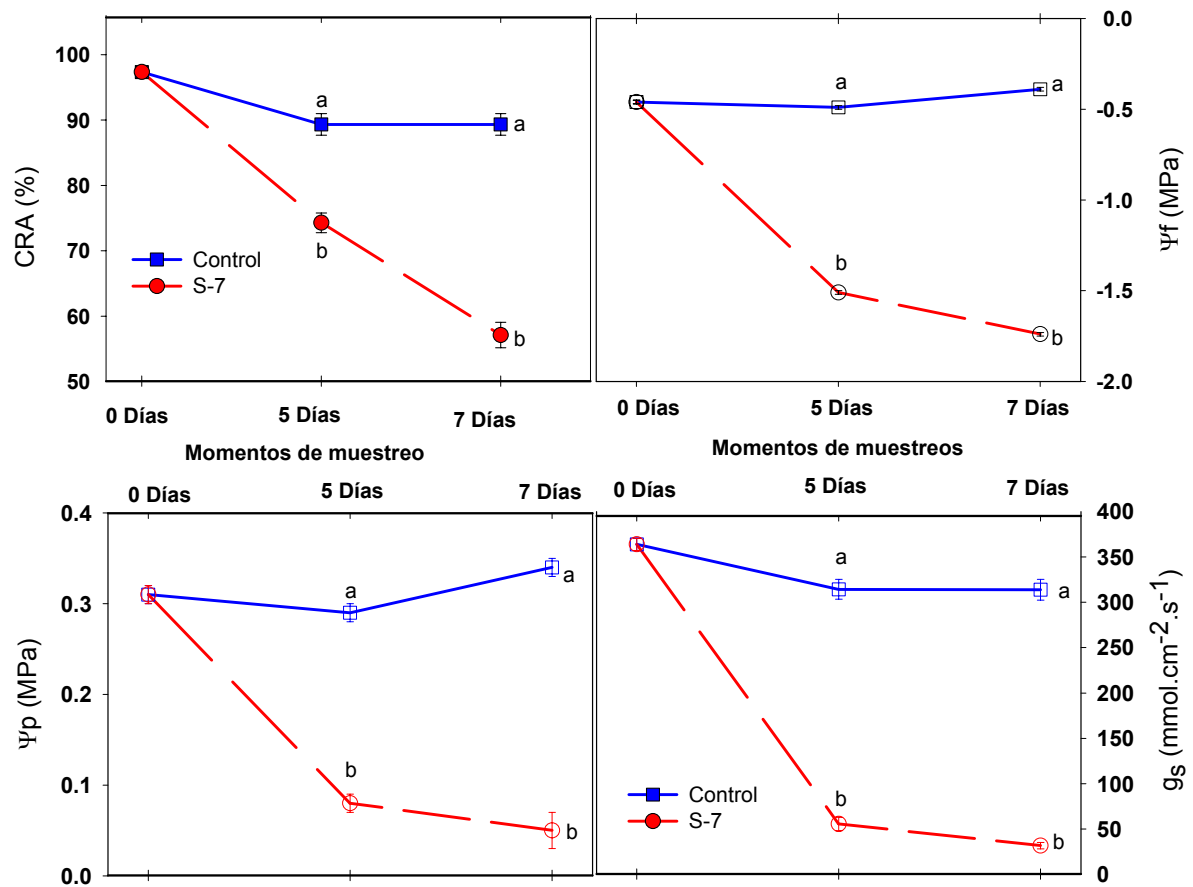


Figura 32. Contenido relativo de agua (CRA) Potencial hídrico foliar (Ψ_f) Potencial de presión (Ψ_p) y Conductancia estomática (g_s) en plantas de albahaca blanca que se le suspendió el suministro hídrico por siete días antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, según t-student a $p < 0.05$.

El potencial hídrico foliar y el potencial de presión brindaron una respuesta similar al comparar sus comportamientos en plantas sometidas a deficiencias hídricas en el sustrato y plantas bien abastecidas de agua. Ambas variables disminuyeron significativamente cuando a las plantas se le suspendió el suministro hídrico.

La conductancia estomática se comportó de forma similar que los potenciales hídrico, de presión y el contenido relativo de agua foliar en las plantas que se le suspendió el suministro hídrico. Los resultados en este sentido, de acuerdo con las informaciones brindadas por diferentes investigadores, confirman la estrecha relación entre las variables que miden el estado hídrico de las plantas y las variables que evalúan el intercambio gaseoso. Es bien cierto que el potencial hídrico foliar y la conductancia estomática están unidos funcionalmente, por lo que cambios en uno, prácticamente dirigen los cambios en el otro (Augé, 2000 y 2001).

Por otra parte, el hecho de haber aplicado la condición de estrés en esta etapa de desarrollo del cultivo y sin que antes las plantas hayan sufrido estrés hídrico, puede haber provocado una respuesta inmediata en las mismas, lo cual se refleja en la caída de los potenciales y la disminución de la conductancia estomática. El cierre de los estomas para evitar pérdidas excesivas de agua, al parecer fue una de las respuestas inmediatas a los cambios en las condiciones de humedad del sustrato evidenciado en este experimento, coincidiendo con resultados obtenidos por Croker *et al.* (1998), así como en experimentos anteriores analizados en este capítulo. Esta respuesta en el comportamiento de los estomas, es considerada un mecanismo de las plantas para evitar la cavitación en el xilema según se ha planteado por Jones (1998); Comstock y Sperry (2000) y para evitar el embolismo (McCully, 1999).

4.3.3.3.- Aceites esenciales

En cuanto a la producción de aceites esenciales (Figura 33), se destaca que para las condiciones de suspensión del suministro hídrico empleadas se produjo un incremento en la concentración de aceites, resultados que concuerdan con los obtenidos en los experimentos anteriores al someter las plantas a deficiencias hídricas. Las plantas sometidas a estrés duplicaron a las del tratamiento control, todo lo cual corrobora la factibilidad de aplicar esta práctica para lograr mejores resultados (Simón, 1992), este autor informó incrementos de aceites esenciales en hojas de menta debido al déficit hídrico en el suelo.

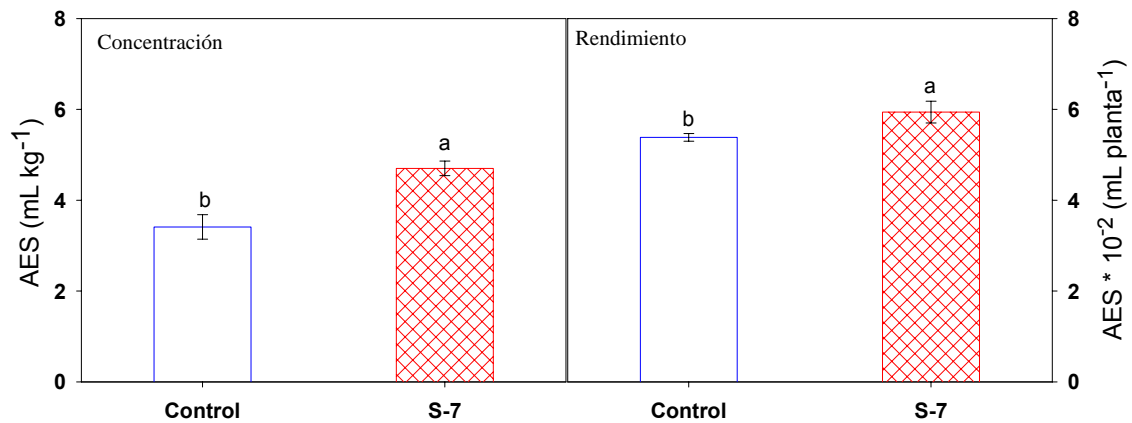


Figura 33. Producción de aceites esenciales en plantas de albahaca blanca que se le suspendió el suministro hídrico por siete días antes del corte. Las barras y las letras sobre las figuras representan el error estándar y la significación, t-student a $p < 0.05$.

Asimismo, de acuerdo con los resultados de este experimento, a medida que incrementó la exposición de las plantas a condiciones de deficiencias hídricas en el sustrato, también el rendimiento promedio por planta se incrementó significativamente. Como se muestra en la figura, el tratamiento de estrés (S-7) mostró valores más altos que el control.

Este comportamiento indica que aun cuando la producción de biomasa foliar fue afectada por la condición de estrés impuesta, este tratamiento resultó positivo, dado el rendimiento de aceites esenciales obtenido por planta, de aquí la importancia de buscar variantes en las que se logre incrementar la concentración de aceites esenciales, al mismo tiempo que se utilice el menor volumen hídrico posible, pero con una mínima afectación en los rendimientos por planta, tal y como han señalado Ramírez, Moreno y Murillo (2001).

4.3.3.4.- Consideraciones generales del experimento

La suspensión del suministro de agua siete días antes del corte provocó condiciones de baja humedad en el sustrato que repercutieron en una disminución en la variable biomasa seca foliar, esta disminución pudo estar dada por dos razones fundamentales: en primer lugar, los efectos del estrés aceleraron la senescencia y produjeron la caída de las hojas y por otra parte, una disminución en la eficiencia del aparato fotosintético para producir biomasa en esta etapa del cultivo según el grado de crecimiento y desarrollo alcanzado

por las plantas en el momento en que se aplicó el estrés (aparición de las inflorescencias laterales (Fase E)) donde las plantas han desarrollado su potencial de crecimiento vegetativo.

Asimismo, se corroboran los resultados anteriores sobre el efecto negativo que produce la suspensión del suministro hídrico en el crecimiento, desarrollo y las relaciones hídricas de plantas de albahaca blanca. Sin embargo, se reafirmó el beneficio que conduce el suspender el suministro hídrico al cultivo en el incremento de aceites esenciales con disminución en el volumen total de agua aplicado.

4. 4.- Consideraciones generales de los resultados obtenidos en el capítulo

Las diferentes fases del cultivo estudiadas hasta la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo, mostraron diferencias en la duración en días, que estuvieron dadas por las fechas de siembras empleadas. Resultó significativamente más corto el ciclo en la siembra de abril que en la de enero, producto de temperaturas más elevadas, las cuales produjeron un adelanto de cinco días en las fases desde la emisión del primer par de hojas verdaderas (B) hasta la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (D).

Al igual que en la generalidad de las especies cultivadas, la albahaca blanca respondió de forma diferente a aplicaciones de distintos porcentajes de agua al sustrato. Así, cuando se aplicaron porcentajes fijos de agua a partir del balance evaporación-precipitación, de forma general, se alcanzaron los mejores resultados cuando se aplicó el 75% del balance en la mayoría de las variables del crecimiento analizadas; mientras que cuando se aplicaron porcentajes variables a partir de las pérdidas por evapotranspiración, los mayores volúmenes aplicados (100% y 80%) en el período C-D (emisión del primer par de brotes laterales-aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo) propiciaron un mejor crecimiento de las plantas. Sin embargo, el hecho de aplicar niveles bajos (40%) en este mismo período provocaron que las plantas presentaran una mejor eficiencia en el uso del agua.

Al analizar las relaciones hídricas de las plantas a través de las curvas presión-volumen (P-V), se comprobó que las variaciones en el potencial osmótico saturado no garantizaron el mantenimiento de la turgencia celular y que el

módulo de elasticidad no mostró disminución producto de los tratamientos. Al mismo tiempo, el contenido de agua apoplástica se redujo, por lo que el cultivo de la albahaca blanca es poco resistente a la deficiencia hídrica en el sustrato y no fue capaz de realizar ni ajuste osmótico ni elástico.

El comportamiento de las variables de las relaciones hídricas fue un reflejo fiel de la humedad del sustrato, siendo la conductividad hidráulica de las raíces la primera en recibir y manifestar estos efectos, con reducciones considerables.

La mayor concentración de aceites esenciales dependió en todo momento de la severidad del estrés hídrico impuesto. Sin embargo, el rendimiento promedio por planta dependió además, de la producción de masa seca foliar, la cual se ve reducida en condiciones de estrés.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los experimentos realizados, el cultivo de albahaca blanca en condiciones de estrés hídrico incrementa los metabolitos secundarios (AES) en función de determinada afectación de los metabolitos primarios (biomasa).

Lo anterior pudiera explicarse de la siguiente manera: en condiciones de estrés por deficiencia de agua en el suelo se incrementa el ABA en las raíces y en las hojas, este incremento es el responsable del cierre de los estomas, que produce una reducción de la fijación de CO₂, limitándose el proceso de fotosíntesis; afectándose así el balance del carbono con significativa disminución de la producción de biomasa.

La respiración de crecimiento disminuye y la de mantenimiento se incrementa. Mediante la glucólisis se obtiene el piruvato y por una descarboxilación, el acetil CoA, siguiendo la vía del ácido mevalónico se sintetizan los terpenos, a partir de los cuales se obtienen los monoterpenos y los sesquiterpenos, constituyentes de aceites esenciales.

5.- Conclusiones

- Se demostró que el ciclo biológico de la albahaca blanca se reduce cuando la siembra se realiza en el mes de abril en que las temperaturas son más elevadas que las que ocurren cuando la siembra se efectúa en el mes de enero.
- La biomasa se redujo cuando el volumen de agua aplicado al cultivo se limitó al 50% del balance evaporación-precipitación o hasta un 40% de la evapotranspiración, encontrándose en esta última condición un uso más eficiente del agua por las plantas.
- La conductividad hidráulica de las raíces y la conductancia estomática disminuyeron significativamente cuando la humedad en el sustrato fue inferior al 20% en base a masa seca de suelo, produciendo estrés hídrico en las plantas.
- Se demostró que la albahaca blanca es un cultivo susceptible al déficit hídrico y no mostró capacidad para realizar los mecanismos de ajuste osmótico ni elástico, en las diferentes condiciones de estrés hídrico estudiadas.
- La concentración de aceites esenciales en el cultivo de albahaca blanca se incrementó cuando la humedad del sustrato se mantuvo entre 20-30% (mss), con los mejores resultados del rendimiento por planta al aplicar el riego cada cinco días.

6.- Recomendaciones

- Sobre la base del resultado fenológico realizado, se recomienda, estudiar otras fechas de siembra para lograr un mayor conocimiento relacionado con la duración de las fases fenológicas del cultivo y evaluar en esas condiciones el comportamiento del crecimiento y los requerimientos hídricos.
- Garantizar un suministro hídrico al cultivo, en el cual se apliquen volúmenes altos hasta la aparición de la inflorescencia en el ápice del tallo (100 y 80% de las pérdidas por evaporatranspiración) y someterlas a períodos cortos de estrés (ciclos de cinco días) o suspensión del suministro hídrico siete días antes del corte, para incrementar la concentración de aceites esenciales.
- Tomar como base los resultados obtenidos para manejar la agrotécnica del cultivo en condiciones de campo y evaluar el rendimiento con diferentes números de cortes.
- Incorporar los resultados encontrados en este trabajo al proceso de enseñanza de pregrado y postgrado.

7. Referencias Bibliográficas

- Abadia, A, /et all/. Influencia de distintas dosis de riego sobre el potencial hídrico foliar, concentración de Ca y rendimiento de un cultivo de tomate. Relaciones Hídricas en las Plantas. En: Actas Simposium Hispano-Portugués, (4: 1998 nov: Murcia) p. 77-82.
- Acosta, Lerida. Proporciones, cultive plantas medicinales. La Habana. Editorial Científico- técnico, 1992, p. 28-31.
- Alemán, R. D. Aspectos de la tecnología agrícola del cultivo del girasol (*Helianthus annus* L.) para suelos pardos con carbonato en condiciones de bajos insumos. [Tesis de grado], UCLV, 2000. 100 p.
- Alfonso, S. Plantas Medicinales. Fitomed, 1995, no 1.
- Allen, R. G /et all/. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requeriments. FAO irrigation and drainage paper No 56. FAO, 1998, Roma, 300pp.
- Ascencio, G ; Ortiz, C y Ojeda, E. Predicción de la fisiología del cultivar Júpiter de soyo (*Glicine max* (L) Merrill) en el sur de Tamaulipas. Agrociencia. Serie Agua-Suelo-Clima, 1991, vol 2, p. 115-135.
- Augé, R. M. Stomatal behavior of arbuscular mycorrhizal plants. En: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Ed. Y. Kapulnik y D.D. Douds. 2000, p. 201-237.
- Augé, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal simbiosis. Mycorrhiza, 2001, 11:3-42.
- Azcón-Bieto, J y Talón, M. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2da reimpresión España : Ed Univ. Barcelona, 2001. 515 p.
- Azkue, M. La fenología como herramienta en la agroclimatología. 2000. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/publ-e/fenologia/fenologia.htm#FENOLOGÍA>. [consulta nov 20 2001].
- Balbín, Irene. Cambios fisiológicos de la caña de azúcar ante el déficit hídrico. [Tesis de Grado]. UH, Facultad de Biología, 1989, 150 p.
- Barceló, J. M, /et all/. Relaciones hídricas y respuestas a la sequía en dos cultivares de vid. Relaciones Hídricas en las Plantas. En: Actas Simposium Hispano-Portugués, (4: 1998: Murcia), p. 61-64.
- Baricevic, D; Maticic, B y Umek, A. The impact of water stress and/or nitrogen fertilization on morphologic, chemical characteristics and the yield of Deadly nightshade (*Atropa belladonna* L.). En: The use of water in sustainable agriculture. Albacete. Universidad de Castilla-La Mancha, 1997.

- Barker, A. V. Organic fertilizers for herbs. Herb, spice and med. plant digging. 1986, vol 4, p 7.
- Barker, D. J. Physiological responses of sorghum and six forage grasses to water deficits. Proceeding of the sorghum millets abstracts. 1992, vol 17, p. 33-35.
- Barrowelough, D. E; Peterson, C. A y Steudle, E. Radial hydraulical conductivity along developing onion root. J. Exp. Bot. 2000, 51: 547-557.
- Beadle, C. L. Growth analysis. In : photosynthesis and production in a Changing Environment (Hall, D. O; Scurtock, J. M. O; Bolhar-Nordentrampf, H. R; Leegood, R. C and Long, S. P. eds). Chapman and Hall, London. 1993, p. 36-45.
- Biel, C; F. De Herrade Y R. Savé. Efecto de la densidad de plantación en el crecimiento y relaciones hídricas de dos especies de Labiadas. Actas del 4to Simposium Hispano- Portugués Murcia, 1998, P. 117-118.
- Blum, A. Evidence for genetic variability en drought. Drought resistance in crops with emphasis in rice. IRRI. 1982 p. 414.
- Boicet, T. Comportamiento del pimiento sometido a diferentes regímenes de riego en un período no óptimo en suelos aluviales de la provincia Granma, [Tesis de grado], UNAB, 1999, 85 p.
- Borges, O; Gell P; Linares T; Piedra C y Lobaina P. Posibilidades de explotación de la Albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) en suelos salinos. Agrinfor. MINAGRI, 1998, 15 p.
- Bouza, M. Efecto de algunos factores ambientales sobre el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) Boletín, 1991, vol 13, 21 p.
- Cabrera, C. Albahaca contra los malos espíritus. **Se puede vivir en Ecopolis**, año 2 No 9: 39-40, 1997.
- Canny, M. J. Contributions to the debate on water transport. Am. J. Bot. 2001, 88:43-46.
- Casanova, A y Diéguez J. Influencia del cultivar, el esquema floral, y la fecha de siembra sobre la duración del ciclo vegetativo del tomate. Ciencia y Técnica de la Agricultura, 1995, vol 4, p. 7-20.
- Castel, J. R y Buj A. Growth and evapotranspiration of young, drip-irrigated *clemantis* trees. Proc. Int. Soc. Citriculture Cong. (1994: Acireale), p. 41-43.
- Clifford, S. C, /et all/. The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus Mauritania* (Lamk). J. Exp. Bot. 1998, 49: 967-977.
- Cochran, W y Cox G. Diseños experimentales. C. Mexico.Ed Trellas, 1990, p 132-135.

- Comstock, J.P. y Sperry, J. S. Theoretical considerations of optimal conduct length for water transport in vascular plants. *New Phytol.* 2000, 148:195-218.
- Coolbear, P y Megill C. R. Effects of low temperature presowing treatment on the germination of tomato seed under temperature and osmotic stress. *Scientia Horticulture.* 1990, vol 44, p. 43-54.
- Correira, M. J y Pereira, J. S. Abscisic acid in apoplasmic sap can account for the restriction in leaf conductance of white lupins during moderate soil drying and after rewatering. *Plant, Cell and Environment.* 1994, 17: 845-852.
- Crocker, J. L; Witte, W. T y Augé, R. M. Stomatal sensitivity of six temperate, deciduous tree species to non-hydraulic root-to-shoot signalling of partial soil drying. *J. Exp. Bot.* 1998, 49:761-774.
- Cruz, R. T. Structural changes and associated reduction of hydraulic conductance in roots of *Sorghum bicolor* L. following exposure to water deficit. *Plant Physiol.* 1992, 99 : 203-212.
- Cuba. MINAGRI. El cultivo de las plantas medicinales. Recomendaciones preliminales de algunos aspectos agrotécnicos. CIDA, 142p, 1995.
- Cuba. MINAGRI. Resumen anual del cultivo de las plantas medicinales, 1998.
- Charles, D. J ; Joly, R. J y Simon, J. E. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of pepper mint. *Phytochemistry (New York).* 1990, 29 :2837-3840.
- Chaves, M.M, /et al/. How plants cope with water stress in the field ? photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 2002, 89: 907-916.
- Cheping, N. Plantas Medicinales. La Habana, MINSAP, 1993, 165 p.
- De Herralde, F. Effect of water and SALT stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronifolium* plants. *Plant Science*, 1998, 139, p. 9-17.
- De Souza, J. G; Giles J. A y Neto M. B. Selection for water stress tolerance in upland cotton in the northeast of Brasil. *Tropical Agriculture.* 1984, vol 61, p. 2-4.
- Dell'Amico, J, /et al/. Efecto de las deficiencias de oxígeno en las raíces sobre las relaciones hídricas y el desarrollo de cuatro variedades de tomate. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol 20, p. 31-35.
- Dell'Amico, J, /et al/. Evaluación del aporte del agua de rocío en el cultivo del tomate. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol 17, p. 39-41.
- Dell'Amico, J, /et al/. Responses of tomato plants associated with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* during drought and recovery. *Journal of Agricultural Science*, 2002, 138 p. 387-393.

- Dell'Amico, J. Comportamiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) ante diferentes condiciones de abastecimiento hídrico al suelo. [Tesis de Grado], INCA, 1992, 168 p.
- Díaz, P ; Borsani, O y Monza, J. Acumulación de prolina en plantas en respuesta al estrés osmótico. *Agrociencia*. 1999, vol 3, p. 1-10.
- Domingo, R. *et al*/. Fine lemon tree response to regulated deficit irrigation. En: The use of water in sustainable agriculture.- Workshop. (1997: jun 2-4: Albacete). Universidad de Castilla.
- Domingo, R. Respuesta del limonero fino al riego deficitario controlado. [Tesis de grado]. Universidad de Murcia. 1994, 237 p.
- Ebel, R. C, *et al*/. Xylem sap abscisic acid concentration and stomatal conductance of mycorrhizal *Vigna unguiculata* in drying soil. *New Phytol*. 1997, 135:755-761.
- Echevarria, H. Efecto del nitrógeno sobre la dinámica del crecimiento, productividad y calidad de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L), variedad "Genovesa". [Tesis de Maestría] La Habana, 2002, 72 p.
- Fereres, E; Moriana A y Ruz C. Relaciones hídricas en olivo durante el invierno. Relaciones Hídricas en las Plantas. En: Actas Simposium Hispano-Portugués. (4: 1998 nov 49-52: Murcia), p. 49-52.
- Fernández, A. Fases fenológicas de dos genotipos de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en cuatro fecha de siembra. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol 16, p. 64-68.
- Ferrandiz, V. L. Medicina vegetal. Barcelona. 1974, 415 p.
- Figueroa, V y Lama J. Las plantas de nuestro huerto. 1 Condimentos y medicinales. Proyecto comunitario, La Habana, 2000. 243 p.
- Flexas, J; Escalona, M y Medrano, H. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in graperines. *Plant Cell and Environment*, 1999, 22: 39-48.
- Foster, S. Commercial herb production: Conservation by cultivation. *Herbalgram*, 1994, vol 32, p 38.
- Frensh, J. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. *J. Exp. Bot*. 1998, 48: 985-999.
- Fuentes V. Estudios sobre la flora medicinal y condimenticia de Cuba. *Agricultura Orgánica*, 1999, vol 5, p 7-9.
- Fuentes V. R. Las plantas medicinales en Cuba. La Habana, MINSAP, 1988, 27 p.
- Fuentes, V, *et al*/. Estudios fenológicos en plantas medicinales XI. *Rev Cubana Plant Med* 2000, vol 5, p. 106-113.
- Galego, Raiza. Evaluación del impacto de la sequía en distintos períodos fenológicos del albaricoquero. Mecanismos de resistencias. [Tesis de grado], Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. CEBAS, 1998, 278 p.

- García, F, /et al/. Movimiento del agua en el suelo, 2003. Disponible en:
<http://www.Fagro.edu.uy/edafología/curso/material>. [consulta feb 5 2004].
- Girma, F y Krieg, D. Osmotic adjustment in sorghum I. Mecanismos of diurnal osmotic potential changes. *Plant Physiol.* 1992, 99: 577-582.
- Girón, L, /et al/. Tecnologías Agrícolas para la producción de plantas medicinales. En: *Fundamentos de Agrotecnología de cultivos de plantas medicinales Iberoamericanas*. Santafé de Bogotá, 2000, 524 p.
- Girón, L. M y Cáceres, A. Técnicas básicas para el cultivo y procesamiento de plantas medicinales, Guatemala, CEMAT, 1994, 169 p.
- Girona, J, /et al/. M. Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *J. Amer. Soc Hort Sci*, 1992, vol 118, p. 580-586.
- Girona, J. Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. *Fruticultura Profesional*, 1995, vol 47, p. 38-45.
- Gowing, D. J. G; Davies, W. J y Jones, H. G. A positive root-source signal as an indicator of soil drying in apple, *malus domestica*. *Journal of Experimental botany*, 1990, 41: 1535-1540.
- Grupo Nacional de Agricultura Urbana. Informe. Periódico Granma , jueves, 1 de febrero, 2001, p. 4.
- Gu, J. D y Shen, X. W. The physiological response growth stage in maize varieties. *Shenyang. Annual Report. Shenyang Agricultural University*, 1990, 6 p.
- Hare, P. D.; Cress, W. A y Vanstaden, J. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant, Cell and Environment*. 1998, 21, p. 535-553.
- Hernández, A, /et al/. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana. Agrinfor. 1999, 64 p.
- Hernández, A. F. Plaguicidas naturales. La Habana. INCA, 2000. 63 p.
- Hernández, A. Fases fenológicas de dos genotipos de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en cuatro fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol 16, p. 64-68.
- Hernández, M. Algunos apuntes sobre la medicina verde en provincia Habana. La Habana. Dirección Provincial de Salud. 1991. 23 p.
- Hose, E, E. Steudle y W. Hartung. Abscisic acid and hydraulic conductivity of maize roots: a study using cell-and root-pressure probes. *Planta* 2000. 211:874-882.
- Houman, C. E. Definiciones de sequía. Unesco. Seminario regional sobre hidrología de la sequía. Fac. de ingeniería agrícola de la Universidad Agraria de Molina, 1970.
- Hsiao, C. T. Plant-atmosphere interaction and irrigation scheduling. Symposium on scheduling of irrigation for vegetable crops under field conditions. *Acta Horticulturae*, 1990, vol 1, p. 45-51.

- Hsiao, C. T. y Bradford J. K. Physiological consequences of cellular water deficits. En : limitations to efficient water use in crop production. Londres. Howard.M. Taylor. 1983. 265 p.
- Huang, B y Gao, H. Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. Hort Science, 1999, 34, p. 897-901.
- Huxman, K. A. Smith, S. D y Neuman, D. S. Root hydraulic conductivity of *Larrea tridentata* and *Helianthus annuus* under elevated CO₂. Plant, Cell Environment. 1999, 22 : 325-330.
- Iglesias, L. Revisión sobre diversos aspectos relacionados con la tolerancia al estrés de calor en plantas. Cultivos tropicales, 1994, vol 15, p. 99-107.
- International Organization for Standardization, ISO 6571, Species Condiments and Herbs. Determination of volatile oil content, 1984.
- Jackson, R. B; Sperry, J. S y Dawson, T. E. Root water uptake and transport using physiological processes in global predictions. Plant Science, 2000, 5: 482-488.
- Jagtap, V, /et al/. Comparative effect of water, heat and light stresses on photosynthetic reaction in *Sorghum bicolor* (L) Moench. J. Exp. Bot. 1998, 49: 1715-1721.
- Jarvis, A. y W. J. Davies. The coupled response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. J. Exp. Bot. 1998, 49: 399-406.
- Jerez, E. El abastecimiento hídrico al suelo y su efecto sobre el desarrollo y las relaciones hídricas en el cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. [Tesis de Grado], INCA, 1991. 173 p.
- Jerez, E. Estrés por déficit de humedad en el suelo y desarrollo de las plantas. La Habana, INCA, 1998. 28 p.
- Jerez, E; Torres W y Reynaldo I. Indicadores fisiológicos y bioquímicos en cultivares de papa sometidos a estrés de humedad por períodos cortos de tiempo. Cultivos Tropicales, 1993, vol 14, p. 71-78.
- Jones, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. J. Exp. Bot. 1998, 49: 387-398.
- Jones, H. G; Lakso A. N y Syvertsen J. P. Physiological control of water status in temperature and subtropical fruit trees. Hortic. Rev, 1985, vol 7, p. 301-344.
- Jones, M. N. Tuner, N. C. and Osmond, C. B. Mechanisms of drought resistance. Plant Physiology 1981. 72: 265-271.
- Jurriens, M y Wester P. Protective irrigation in India. Annual Report. International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1994, 15 p.
- Kramer, P. J. Water relations in plants. Londres. Academic Press, 1983. 570 p.
- Krishna Moorthy, S. Aceites esenciales de la India; Avances actuales y aplicaciones en perfumeria. CIDA. Plantas Medicinales y Floricultura, 1991, vol 1, p. 14-16.

- Kubikova, E, /et al/. Mycorrhizal impact on osmotic adjustment in *Ocimum basilicum* during a lethal drying episode. *Plant physiol.* 2001. 158. 1227-1230.
- Lange, D. Untersuchungen zum Heilpflanzenhandel in Deutschland. [Análisis del comercio de plantas medicinales en Alemania], Bonn, Bundesamt für Naturschutz, 1996, 645 p.
- Levit, J. Response of plants to environmental stress. Nueva York. Academic Press, 1980, p. 3-21.
- López, J. M; Leidi E y Gutiérrez J. C. Fotosíntesis, Conductancia Estomática, eficiencia en el suelo del agua y temperatura foliar de cultivares de algodón en respuesta al estrés hídrico. *Protección Vegetal*, 1993, Vol 8, p. 35-42.
- Lorduy, E y Mache R. Plantas medicinales, un potencial poco aprovechado, CIDA. *Plantas Medicinales y Floricultura*, 1991, vol 1, p. 17-18.
- Lu, Z. y P. Neumann. Water stressed inhibits hydraulic conductance and leaf growth in rice seedlings but not the transport of water via mercury-sensitive water channels in the root. *Plant Physiology*, 1999, vol. 120, pp 143-151.
- Lu, Z. y P. Neumann. Water-stressed maize, barley and rice seedlings show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *J. Exp. Bot.* 1998, 49: 1945-1952.
- Ludlow, M. N. y Muchow R. C. A. Critical evaluation of traits for improving crops yields in water limited environments. *Adv. Agron.* 1990, vol 43, p. 107-153.
- Lloyd, J. E; Daniel A; Rose M, A. Effects of Nursery production practices on the growth, Insect Resistance, and stress tolerance of *Syzygium crabapple* in the landscape. *Ornamental Plants, Annual Reports and Research reviews*, 1999, p. 26-31.
- Markhart, A. H y Smit, B. Measurement of root hydraulic conductance. *Hort. Science.* 1990, 25: 282-287.
- Martín, E. C, /et al/. Computerized irrigation scheduling programs for the US, Egypt and Mexico. Tucson. College of Agriculture. University of Arizona, Tucson, 1996, p. 150-154.
- Martínez, R. Necesidades de agua para el cultivo del Banano en los suelos Ferralíticos rojos de la región de Alquizar. [Tesis de grado], INCA, 1996.
- Martins, A.P, /et al/. Composition of the essential oil of *Ocimum canum*, *O. gratissimum* and *O. minimum*. *Planta Medica.* 1999, 65: 187-189.
- Mejía, C. J. Manual de alelopatía básica y productos botánicos. 1ed. Santa Fé de Bogotá. Editorial KinggrafL, 1995. 83 p.
- Mccully, M. Root xylem embolisms and refilling. Relation to water potential of soil, roots, and leaves, and osmotic potentials of root xylem sap. *Plant Physiology*, 1999, vol 119, p. 1001-1008.

- Monneveux, P y Belhassen, E. The diversity of drought adaptation in the wide. *Plant Growth Regul.* 1996, 20, p. 85-92.
- Moons, R. Why measure osmotic adjustment?. *Aust. J. Plant Physiol.* 1988, vol 15, p. 717-726.
- Morales, D; Jerez E y Dell'Amico J. Comportamiento de algunos indicadores fisiológicos del estado hídrico de las plantas en diferentes condiciones de cultivo. *Cultivos Tropicales.* 1991, vol 12, p. 31-37.
- Moreno, T. H. El agua en las plantas: Relaciones hídricas. 1ra ed. EUNA, 1991, 99 p.
- Muñoz López, F. *Plantas Medicinales y Aromáticas. Estudio, Cultivo y Procesado.* Madrid, Ed, Mundi - Prensa, 1987, 365 p.
- Murillo, E y Viña, A. Determinación de constituyentes volátiles de la albahaca (*Ocimum spp*) mediante dos métodos de extracción. *Revista Colombiana de Química,* 1999, vol 28, p. 9-13.
- Natali, S; Bignami, C y Cammilli, C. Effects of different levels of water supply on gas exchange in peach trees. *Agr. Med.,* 1997, vol. 127, p. 17-22.
- Nguyen, H. y C. P. Joshi. Molecular strategies for the genetic dissection of water and high-temperature stress adaptation in cereal crop. En: *Adaptation of food crops to temperature and water stress.- Ed. C.G. Kuo. Proceedings of an international Symposium, Taiwan, 1992, p. 1-19.*
- Niorse, R. Determinación de las necesidades de riego en una serie de cultivos. *Información Express. Serie Riego y Drenaje,* 1987, Vol 10, p. 37-38.
- Novel, P. S. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology.* New York. Academic press. 1991, 488 p.
- Núñez, A y Foster E. Efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento de hojas, tallos y vainas del frijol. *Agricultura Técnica en México,* 1996, vol 22, p. 25-29.
- Ortega, E; Pardo L y Gonzáles A. Cambios metabólicos en plantas de caña de azúcar bajo estrés hídrico. *Ciencias de la Agricultura,* 1984, vol 21, p. 37-42.
- Osvald, L. y Osvald M. Consequences due to water stress for the development and yields of moize, sorghum, cabbage and tomato plants. *Prinurjova pasledic uplina bagna stresa norost, koz vojter pridelek korusze, scika, zelja in paradismoca Bioloska Bistnik,* 1991, vol 39, p. 129-135.
- Pacheco, M. J. Plantas aromáticas y medicinales en la escuela taller. En: *Jornada Ibérica de plantas medicinales, aromáticas y de aceites esenciales (1: 1992: Madrid),* p. 483.
- Paredes, M. Hierbas aromáticas y medicinales. *Periódico ABC color Paraguay.* Miércoles 25 de febrero, 1998, p. 5.

- Pastenes, C; Porter V. H, y Baginsky C. Efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento de cuatro cultivares de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) Investigación Agrícola, 2000, vol 20, p.
- Paumero, I. El cultivo de la albahaca. 1999. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/publ-e/fenologia/fenologia.htm#FENOLOGÍA>. [diciembre 3, 2001].
- Pérez, I; Dell'Amico, J. M y Reynaldo I. Comportamiento de variedades de plántulas de tomate en condiciones de inundación del suelo. Cultivos Tropicales, 1999, vol 20, p. 41-44.
- Pino, M y Terry, E. Modificación de algunos aspectos del fitoclima con la utilización de sombra natural y artificial. Cultivos Tropicales 1997, vol 18, p. 55-57.
- Pino, M. A. Modificación de la productividad del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) fuera del período óptimo utilizando al maíz como sombra natural. [Tesis de grado], INCA, 2001.
- Polón, R, /et al/. La aplicación del estrés hídrico como alternativa para incrementar los rendimientos en el cultivo del arroz. Cultivos Tropicales, 1995, vol 16, p. 18-20.
- Polter, S. Nueva Enciclopedia de Preparación Botánica. New York, 1994, 26 p.
- Ponce, G. Fitoterapia (plantas medicinales). El Libro de la Familia. La Habana. Verde Olivo, 1993, p. 160-201.
- Programa Nacional para el Desarrollo y la Generalización de la Medicina Tradicional (PNMTN) MINSAP, Cuba, 1997.
- Radin, J. W; Hartung W; Kimball B. A y Mauney J. R. Correlation of stomatal conductance with photosynthetic capacity of cotton only in a CO₂ enriched atmosphere. Mediation by abscissic acid. Plant Physiology, 1988, vol 88, p. 1058-1062.
- Ramírez, C. J; Moreno, B y Murillo, E. Evaluación agronómica e industrial de siete variedades de albahaca en la zona cafetalera colombiana. Cenicafé. 2001, 52: 117-126
- Ranaje, G. S. Aromaterapia. Plantas Medicinales y Floricultura, 1991, vol 1, p. 10-11.
- Rhizopoulou, S. Is negative turgor fallacious?. Physiologia Plantarum, 1997, 99: 505-510.
- Riambau, R. La importancia del cultivo de las plantas aromáticas. Horticultura, 1998, vol 17, p.32-35.
- Rodríguez, A. T. Plantas medicinales ¿solo para humanos?. Se Puede Vivir en Ecopolis, 1999, vol 16, p. 5-7.
- Rodríguez, P. Caracterización de la respuesta de especies ornamentales silvestres a estreses ambientales Mediterráneos. [Tesis de Doctor en Ciencias], España 2001.
- Roig. J. T. Plantas medicinales aromáticas o venenosas de Cuba. La Habana. Pueblo y Educación, 1975, 939 p.

- Rojas, L; Rocío, O. y María, E. Xeromorfismo foliar y resistencia a la sequía en dos variedades de caña de azúcar. *Ciencia de la Agricultura*. 1983, 16: 36-37.
- Romero, A; Botia, P y Garcia, F. Respuesta fisiológica del almendro (*Amygdalus communis* L.) al estrés hídrico: turgencia celular y ajuste osmótico. V Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las plantas. V Simposium hispano-portugués, Alcalá de Henares, 2000.
- Ruiz-Sánchez, M. C y Girona J. Investigaciones sobre riego deficitario controlado En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Madrid, 1995, 188 p.
- Salisbury, F. B y Ross C. W. Fisiología vegetal, Ed. Iberoamérica, México, 1994, 759 p.
- Salleo, S, /et al/. Xylem cavitation and hydraulic control of stomatal conductance in laurel (*Laurel nobilis* L.). *Plant. Cell and Enviroment*. 2000, 23 p. 71-79.
- Sánchez, E. Diccionario de plantas agrícolas. Madrid. Ministerio de la Agricultura, 1980, 467 p.
- Sánchez, R. Las plantas medicinales y condimentosas ya tienen su espacio. *Agricultura Orgánica*, 1999, vol 5, no 1, p. 3-6.
- Sánchez-Blanco, M. J, /et al/. Comparative growth and water relation of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants during water déficit conditions and recovery. *Plant Science*. 2002, 162 p. 107-113.
- Sánchez-Blanco, M. J, /et al/. Estrategias de resistencia y adaptación a la sequía. *Phytoma*, 1993, 51, p. 18-25.
- Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas A. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado. En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Madrid. 1995, p. 43-63.
- Sánchez-Días, M y Aguirreolea J. El agua en las plantas. En: Fundamentos de Fisiología vegetal. Azcón-Bieto y Talón, Ediciones Universidad de Barcelona, 2001, P.17-30
- Sánchez-Díaz, M y Aguirreolea J. Relaciones hídricas. En: Fisiología y Bioquímica Vegetal. New York. Interamericana. McGraw Hill, 1993, p. 49-90.
- Sanda, K, /et al/. *Ocimum canum* Sims-A lesser known source of volatile oil with terpineol-4 as the major constituent. *Bolletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 1998, vol 12, p. 173-176.
- Santa Olalla, F. M. y Valero J. Agronomía del riego. Madrid. Mundi - Prensa, 1993, 587 p.
- Savé, R; Biel C; Domingo R; M. Ruiz-Sánchez C y Torrecillas A. Some physiological and morphological characteristics of citrus plant for drought resistance. *Plant Sci*, 1995, vol 110, p. 167-172.

- Selker, J. Física del suelo, 2003. Disponible en : <http://www.bioe.orst.edu/faculty/Selker/Chilean>. [consulta feb 5 2004].
- Shangguan, Z; Shao, M y Dyckmans, J. Interaction of osmotic adjustment and photosynthesis in winter wheat under soil drought. *J.Plant Physiol.* 1999, 154, p. 753-758.
- Simon, J. E, /et al/. A source of aroma compounds and a popular culinary and ornamental herb—505. IN J. 1992. Jarnick (ed), *Perspectives on new crops and new uses*. ASHS Press. Alexandria, VA.
- Sinha, G. K y Gulati B. C. Propiedades antibacterianas de algunos aceites esenciales y sus constituyentes. *Plantas Medicinales y Floricultura.* 1991, vol 1, p. 10-11.
- Skuvevodi, F y Aguilera D. M. Patrones del sistema radical en frijol común. *Turrialba,* 1990, Vol. 40, p. 421-429.
- Soto, F. Estimación del área foliar en *C. arabica* L. A partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos tropicales,* 1980, 2, p. 115-128.
- Soto, R. Contribución a la tecnología agrícola para la producción comercial de la caña santa (*Cymbopogon citratus* Stapf) en Cuba. [Tesis de grado], UNAH, 2001.
- Souza, A. Análise fenológica para cultivares de arroz na microrregião de dourados. *Laudura Arroceira,* 1995, vol 48, p.13-17.
- Stedle, E. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 2001, 52: 847-875.
- Stedle, E. Water uptake by roots: effects of water deficit. *J. Exp. Bot.* 2000, 51:1531-1542.
- Stedle, E. y C. A. Peterson. How does water get through roots?. *J. Exp. Bot.* 1998, 49: 775-788.
- Tadeo, F. R. Fisiología de las plantas y el estrés. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal.* Azcón-Bieto y Talón, Ediciones Universidad de Barcelona, 2001, p.481-498.
- TansÚ, S; Nacar, S y Culcu, A. A. La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y sus procedimientos de cultivo como producto forestal no leñoso. XI Congreso Forestal Mundial, 1997, Volumen 3 tema 15, Antalya, Turquía.
- Tardieu, F y Simonneau, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Jornal of Experimental Botany,* 1998, vol. 49, p. 419-432.
- Torrecillas, A, /et al/. Seasonal variations on water relations of *Amygdalus communis* L. under drip irrigated and nonirrigated conditions. *Plant and Soil.* 1988, 106: 215-220.
- Torrecillas, A; Guillaume C y Alarcón J. J. Water relations of two tomato species under water stress and recovery. *Plant Science,* 1995, vol 105, p. 169-176.

- Torrecillas, A; Rodríguez, P y Sánchez-Blanco, M. J. Comparison of growth, leaf water relations and gas exchange of *Cistus albidus* and *C. monspeliensis* plants irrigated with water of different NaCl salinity levels. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97, p. 353-368.
- Torres, W. A. Metodología del análisis del crecimiento en plantas aplicado al estudio del desarrollo de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en diferentes fechas de plantación. [Tesis de grado], INCA, 1985, 94 p.
- Trimmer, W. L. Partial irrigation in Pakistan. *J. ASCE Irrig. Drain. Div*, 1990, vol 16, no 3, p. 342-353.
- Turner, N. C. Crop water deficits: a decade of progress. *Advances in Agronomy*. 1986, 39: 1-51.
- Turner, N. C. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrigation Science*. 1988, 9: 289-308.
- Turner, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 1981, vol 58, p. 339-366.
- Turner, N. C. The use of the pressure chamber in studies of plant water status. En: *Int. Conf. of Measurement on Soil and Plant water Status*. 1987, Vol. 2. Utah State Univ. Logan, p. 13-24.
- Turner, N. C. y Kramer, P. J. Water relations. *Academic Press*, 1983, 1-22 p. 342-345.
- Tyree, M. T. The cohesion-tension theory of ascent: current controversies. *J. Exp. Bot.* 1997, 48: 1753-1765.
- Usma, M ; Gallego, C. B y Delgadillo, O. L. Fenología de la palma (*Astrocaryum standleyanum*) en el bajo río Juan Juan, Checó, Colombia. *Cespedecia*, 1996, vol 21, p.121-132.
- Verma, D. P. S; Hu C. A. A y Delauney A. S. Genetic manipulation for proline overproduction and the control of osmoregulation in plants. En: *Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an international Symposium (1992: Taiwan)*. p. 47-58.
- Wang, B. X; Huang J. C y Wang H. The correlations of proline accumulation and drought resistance in virices plants under water stress condition. *Actas Phytobiologica Sívica Lanzhou Univ China* 1989, vol 15, no 1, p. 46-51.
- Wei, C., E. Steudle y M.T. Tyree. Water ascent in plants: do ongoing controversies have a sound basis?. *Trends Plant Science*. 1999, 4: 372-375.

- Wingler, A, /et al/. The role of photorespiration during drought stress: an analysis utilizing barley mutants with reduce activities of photorespiratory enzymes. *Plant cell and Environment*, 1999, 22: 361-373.
- Yusuf, M, /et al/. Studies on the essential oil bearing plants of Bangladesh. Part VI. Composition of the oil of *Ocimum gratissimum* L. *Flavour and Fragrance Journal*, 1998, vol 13, p. 163-166.
- Zollo, P. H, /et al/. Aromatic plants of tropical central Africa. Part XXXII. Chemical composition and antifungal activity of thirteen essential oils from aromatic plants of Cameroon. *Flavour and Fragrance Journal*, 1998, vol 13, p. 107-114.
- Zwieniecki, M. A y Boersma, L. A technique to measure root tip hydraulic conductivity and root water potential simultaneously. *Journal of Experimental Botany*, 1997, vol 48, p. 333-336.

ANEXOS

Tabla 1. Características físicas y químicas del sustrato usado.

Física	Indice de plasticidad	Arcilla %	C. dispersión %	Dr g/cm ³	Da g/cm ³	Humedad natural %	Porosidad Total, %
	36.8	71.44	13.21	2.72	0.88	33.0	67.65
Química	K cmol/kg	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	P mg/kg		M.O %	pH H ₂ O
	0.50	17.8	1.7	2125.0		7.58	7.6

Tabla 2. Acumulados semanales de evaporación y precipitación en (mm).

Semanas	ENERO 1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Evaporación total	21.24	21.49	25.36	30.23	21.42	24.79	23.44	21.67	27.22	26.69	15.44
Lluvia total	7.1	14.1	-	-	38.1	-	15	33.0	-	-	49.0
Semanas	ENERO 2										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Evaporación total	31.49	37.95	31.84	36.06	29.39	35.59	38.64	42.18	42.0	42.18	48.9
Lluvia total	-	-	-	-	20.1	-	-	26.5	35.9	-	15.5

Tabla 3. Variables meteorológicas por decenas durante el período experimental.

		1998				1999				2000			
Meses	Decenas	Tmáx	Tmed	Tmín	Hr	Tmáx	Tmed	Tmín	Hr	Tmáx	Tmed	Tmín	Hr
Enero	1	24.96	20.46	16.51	83.90	26.90	22.52	18.42	84.80	27.76	22.41	17.93	82.10
	2	26.11	21.05	16.62	85.10	26.93	20.81	16.00	82.50	25.20	19.25	13.10	74.20
	3	25.33	20.72	17.10	85.00	27.76	22.60	19.00	78.70	25.22	18.88	12.61	78.90
Febrero	1	24.28	18.50	13.49	81.50	27.36	21.78	16.10	76.80	24.71	19.93	13.54	79.40
	2	25.86	20.24	15.09	83.90	27.67	23.69	19.00	77.70	28.22	21.66	15.86	79.60
	3	25.51	17.90	10.94	80.79	27.35	22.51	15.14	77.77	29.02	20.63	15.02	76.46
Marzo	1	26.21	21.19	16.76	80.40	26.62	19.61	13.25	78.40	28.00	20.88	14.36	75.20
	2	25.43	20.52	16.31	79.00	26.97	20.60	14.64	74.60	29.34	23.69	19.01	78.40
	3	26.71	21.32	17.57	80.50	30.06	22.62	16.94	75.60	29.41	22.61	16.29	74.60
Abril	1	30.90	23.94	18.52	80.60	31.52	24.54	22.77	75.70	28.99	22.99	17.29	74.50
	2	30.11	24.75	21.79	71.70	30.19	23.80	21.01	76.50	28.51	22.68	17.72	80.70
	3	32.61	25.85	21.01	72.60	32.35	25.73	21.00	75.20	30.19	24.21	17.63	76.00
Mayo	1	31.34	25.64	21.30	80.80	31.94	25.30	20.10	74.80	30.41	26.63	20.29	74.90
	2	30.55	24.83	21.27	76.90	32.63	27.45	21.05	75.10	31.49	25.69	20.70	74.90
	3	31.59	26.28	22.54	83.20	31.72	25.58	20.75	81.30	33.13	26.93	21.58	75.40
Junio	1	30.74	25.40	21.37	83.00	31.42	25.69	21.88	85.50	31.19	25.59	21.84	82.50
	2	30.08	24.91	21.52	80.50	31.16	25.67	22.20	86.60	31.53	25.52	22.36	86.00
	3	32.04	25.98	20.99	82.50	31.63	26.40	21.08	82.60	31.94	25.94	21.65	82.90
		2001				2002							
Enero	1	22.17	16.29	10.94	81.30	23.33	17.71	12.22	79.80				
	2	25.77	19.04	12.29	82.40	28	21.82	16.41	83.3				
	3	23.54	17.84	13.03	75.00	29	22.91	18.34	81.20				
Febrero	1	27.86	21.89	17.36	78.60	28	21.82	16.66	82.60				
	2	28.93	23.06	18.83	82.00	26	21.29	16.37	83.3				
	3	28.90	22.91	18.73	80.30	25	19.519	13.03	79.53				
Marzo	1	26.58	20.63	14.73	75.50	27.52	21.51	16.69	82.20				
	2	30.53	24.03	18.66	78.70	30.12	23.53	17.58	76.00				
	3	27.41	21.89	16.17	76.10	29.61	23.05	17.23	80.20				
Abril	1	29.44	23.88	18.41	71.30	30.09	24	18.63	74.10				
	2	30.72	24.10	18.42	71.50	29.46	23.68	18.71	76.70				
	3	29.55	23.57	19.64	81.80	30.53	24.96	19.09	75.90				
Mayo	1	32.95	23.35	19.07	76.70	32.28	26.27	20.94	73.40				
	2	29.64	23.94	18.52	77.30	30.62	25.23	20.96	79.30				
	3	28.65	24.87	22.36	87.70	29.58	25.22	21.61	83.70				
junio	1	36.67	25.75	21.00	83.00	30.42	25.69	21.88	84.47				
	2	31.81	26.69	21.90	80.50	30.16	25.67	22.20	88.25				
	3	31.77	26.35	21.94	82.50	31.63	26.40	23.08	83.40				

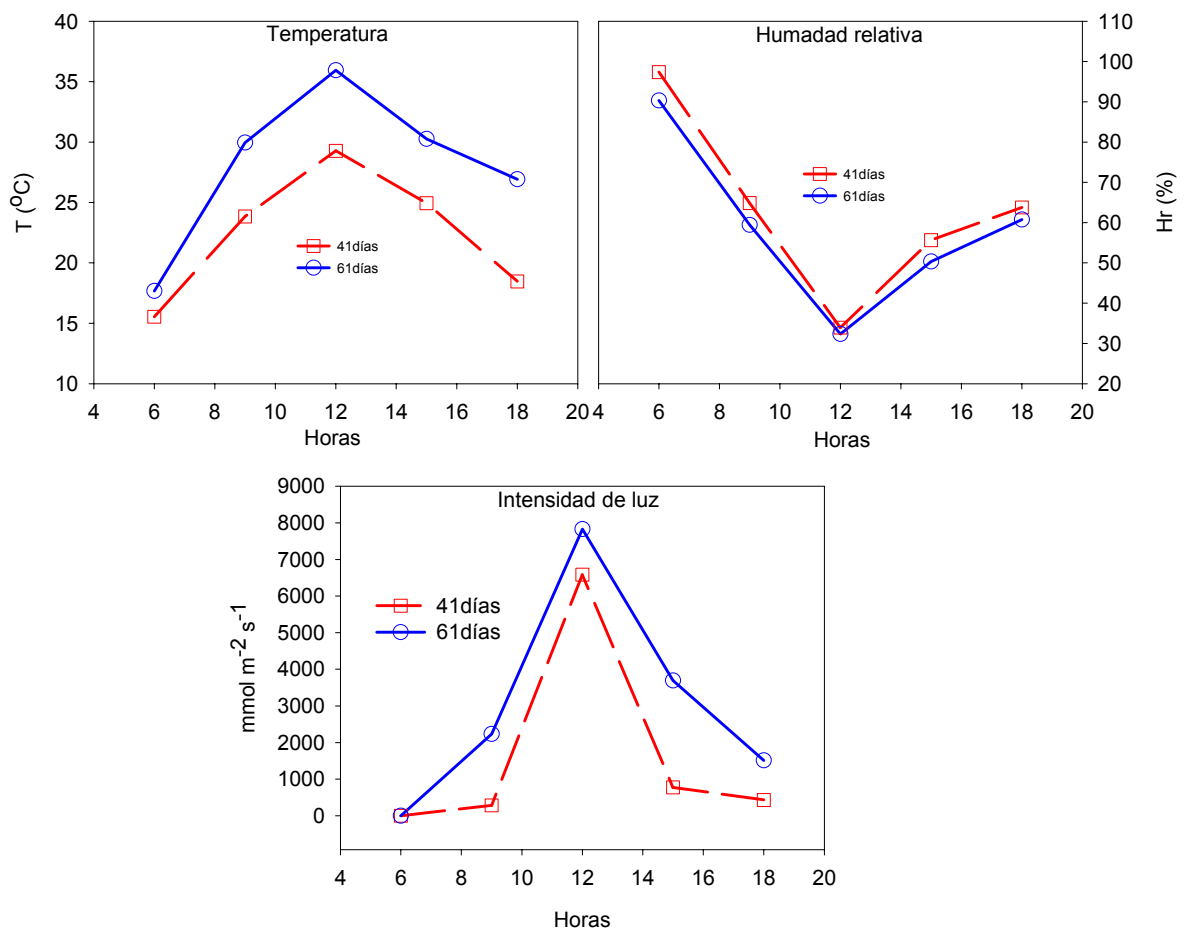


Figura 1. Cursos diario de temperatura, humedad relativa e intensidad de luz a los 41 y 61 días después de la siembra.

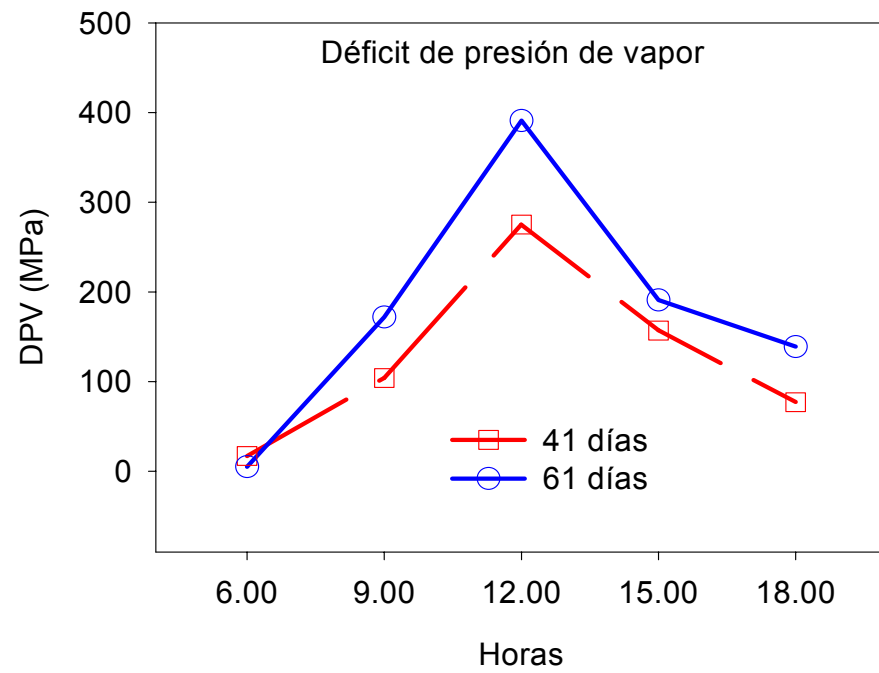


Figura 2. Déficit de presión de vapor calculado en los momentos que se realizaron los cursos diarios de los potenciales y el contenido relativo de agua.

NOMENCLATURA UTILIZADA

ADS	Agua Disponible en el Suelo
AES	Aceites Esenciales
AFE	Área Foliar Específica
CE	Calor efectivo
Chapo	Contenido hídrico apoplástico
ρ	
Ch _{total}	Contenido hídrico total
Ch _{sim}	Contenido hídrico simplástico
ρ	
CRA	Contenido Relativo de Agua
CR _{App}	Contenido relativo de agua en el punto de pérdida de turgencia
DDS	Días Después de la Siembra
DPV	Déficit de presión de vapor
DV	Densidad visual
E	Módulo de elasticidad
EV	Evaporación
E _{tr}	Evapotranspiración
g_s	Conductancia Estomática
HMA	Hongos Micorrízicos Arbusculares
H _r	Humedad Relativa
L _p	Conductividad hidráulica de la raíz
MF	Masa Fresca
mL	Mililitros
MS	Masa Seca.
MSA	Masa seca aérea
MSh	Masa seca de hojas
MS _r	Masa seca raíz
MSt	Masa seca tallos
MSt _{ota}	Masa seca total
l	
M _t	Masa turgente
PHS	Potencial Hídrico del Suelo
RAF	Relación de Área Foliar
RMF	Relación de Masa Foliar
SF	Superficie foliar
TAC	Tasa Absoluta de Crecimiento
TAN	Tasa de Asimilación Neta
T _m	Temperatura Media
T _{máx}	Temperatura Máxima
T _{mín}	Temperatura Mínima
TRC	Tasa Relativa de Crecimiento
Ψ_f	Potencial Hídrico Foliar
Ψ_o	Potencial Osmótico Foliar
Ψ_{os}	Potencial Osmótico Saturado
Ψ_{ps}	Potencial de presión a máxima turgencia
Ψ_p	Potencial de Presión
Ψ_{sppt}	Potencial saturado en el punto de pérdida de turgencia