Sostenibilidad del cultivo del algodón (1)

Altas temperaturas y rendimiento en el cultivo del algodón

J.C. Gutiérrez Mas*

* Dr. Ingeniero Agrónomo. Eurogenetic.

LAS ALTAS TEMPERATURAS EN ANDALUCÍA: GENERALIDADES

El algodón, *Gossypium hirsutum L.*, se cultiva en España principalmente en Andalucía y está considerado como una planta tolerante al calor; de hecho, solamente puede cultivarse en aquellas zonas donde existe una determinada acumulación de éste durante la estación de crecimiento. A pesar de esto, son muchas las citas existentes en la bibliografía sobre el efecto negativo de las altas temperaturas sobre este cultivo.

Si bien el verano de 2003 ha sido especialmente caluroso, con temperaturas extremadamente altas desde el 29 de julio hasta el 13 de agosto (15 días), las altas temperaturas resultan normales en nuestra zona algodonera en los meses estivales, dado que gravitan sobre nuestra vertical las altas presiones subtropicales; de este modo, las temperaturas suelen alcanzar valores de 40 °C a la sombra entre junio y septiembre (Capel Molina, 1990).

Tomando como referencia Alcalá del Río (Sevilla), zona representativa del valle medio del Guadalquivir, y el período comprendido entre 1976 y 1998 (23 años), el número medio de días con temperaturas máximas entre 38 y 40 °C, es decir, días calurosos pero no extremos, fue de 8,4 (con un intervalo de variación de años con cero días a años con 15 días). El número medio de días con temperaturas superiores a 40 °C, o sea, extremadamente calurosos, resultó de 5,29 (con un intervalo de variación de años con cero días a años con 21 días).

Si consideramos días calurosos aquellos con temperaturas máximas por encima de los 38 °C, el número medio de días es la suma de 8,4 y 5,29, esto es, 13,69 días. El año medio en la zona de referencia anterior dispone aproximadamente de 15 días calurosos que normalmente no ocurren de forma continua. A la vista de estos datos medios no parece que el verano resulte extremadamente caluroso. El problema se acentúa con la inestabili-

La temperatura es el factor principal que controla el grado de crecimiento y reproducción de la planta de algodón

dad climática de los años. Si a estos datos medios le añadimos el intervalo de variación de días con temperaturas extremas (p. e. el año 1992 con 21 días superiores a 40 °C), podemos observar que, si bien existen veranos frescos, son bastantes los años en los que el algodón se encuentra con un alto número de días (y, por supuesto, de horas) con temperaturas superiores a los 38-40 °C. También se dan años con sofocantes olas de calor, en buena parte debidas a la advección de masas de aire tropical que la depresión sahariana formaliza, con lo que los termómetros rebasan netamente los 40 °C e incluso llegan a los 50 °C a la sombra (Capel Molina, 1990). En los 23 años considerados en el período citado, los extremadamente calurosos con bastantes días con temperaturas superiores a 40 °C han sido 1991, 1992, 1993, 1994, 1995 y 1998, es decir, un 26% de los años, curiosamente bastante continuos en el tiempo. Teniendo en cuenta estos datos, los años con un alto número de días con temperaturas de 38-40 °C han sido 11, o sea, un 47,8%. En este sentido, podemos decir que casi un 50% de los años han sido calurosos y un 26% extremadamente calurosos con bastantes días con temperaturas por encima de los 40 °C. En términos generales y para el período considerado, la mitad de los años han sido calurosos, un cuarto extremadamente calurosos y otro cuarto frescos.

√ Este verano, a pesar de las altas temperaturas, podemos considerarlo como normal

El verano de 2003 se ha caracterizado por disponer de 15 días con temperaturas superiores a 40 °C desde el 29 de julio hasta el 13 de agosto. En este sentido, está dentro del 25% de años extremadamente calurosos y podemos considerarlo como normal, con la única diferencia de que estas temperaturas han sido de forma continua, esto es, una auténtica ola de calor con temperaturas extremas de 44,8 y 45,9 el 31 de julio y el 1 de agosto, respectivamente.

No estamos ante un hecho anormal, sino ante algo que ocurre de vez en cuando. Dentro del período considerado ha habido también años extremadamente calurosos, como 1992 con 21 días con temperaturas superiores a 40 °C, 1995 con 16, 1994 con 14 y 1991 con 13.

EFECTO DE LAS ALTAS TEMPERATURAS

La temperatura es el factor principal que controla el grado de crecimiento y reproducción de la planta de algodón. El metabolismo de la planta se ve afectado de tal forma por la temperatura, que existe un rango óptimo para el crecimiento y desarrollo, según Burke *et al.* (1988). Estos autores definieron como Thermal Kinetic Window (TKW) para el algodón una temperatura en hoja entre 23,5 °C y 32 °C con una temperatura óptima de 28 °C. La cantidad de biomasa producida se halla directamente relacionada con el tiempo que la temperatura foliar se encuentre dentro de la TKW. Las temperaturas ambientales de 35-40 °C que dan lugar a un calentamiento de la hoja por encima de la TKW se observan frecuentemente en ciertas zonas algodoneras del mundo; la más estudiada de ellas es el sudoeste de Estados Unidos, principalmente Arizona. En esta zona las temperaturas pueden llegar por la tarde a 45 °C causando el marchitamiento de las hojas. En otras zonas de Estados Unidos se ha informado de que la falta de incremento de los rendimientos en los últimos años y, si cabe, el descenso de éstos puede deberse a condiciones climáticas extremas durante el desarrollo de las cápsulas y posiblemente a la pérdida de la tolerancia a condiciones de estrés en las variedades modernas (Arévalo *et al.*, 2003).

Distintos autores han estudiado los efectos sobre la producción en lo que a crecimiento de órganos fructíferos se refiere. Reddy *et al.* (1991) informaron de que la temperatura afectaba significativamente a la fenología, expansión de la hoja, elongación del entre-

Los resultados han puesto de manifiesto la importancia del número de cápsulas (retención) y el peso de éstas en lo que a resistencia a altas temperaturas se refiere.

nudo, producción de biomasa y partición de asimilados a diferentes partes de la planta. En el estudio de estos autores, la temperatura óptima para la producción de biomasa era de 30/20 °C (diurnas/nocturnas), con un descenso de la producción con respecto a este rango de un 50% para un rango de temperaturas diurnas y nocturnas de 40/30 °C. En este estudio a los 49 días después de la primera flor un 43% de la biomasa correspondía a botones y cápsulas en el caso de un rango de temperaturas de 30/20 °C y, sin embargo, para rangos superiores, como era el caso de 40/30 °C, la mayoría de los botones y flores habían abortado. En ensayos en ambiente controlado en Mississippi Reddy *et al.* (1992) y Hodges *et al.* (1993) informaron de que el número de horas al día por encima de 40 °C resultaba crítico. Los datos de estos autores revelan que tanto el número de cápsulas por planta como el peso de la cápsula y la retención de fruto descienden a medida que aumenta el número de horas que la planta de algodón se encuentra por encima de 40 °C. Para Reddy *et al.* (1992) las altas temperaturas están a menudo asociadas a problemas de esterilidad del polen y a la retención y al peso de órganos fructíferos (botones, flores y cápsulas). Guinn (1998) encontró igualmente inhibición de la fotosíntesis debido a las altas temperaturas.

En Arizona Brown y Zeither (1998) hallaron datos similares y detectaron diferencias genéticas entre variedades de *Gossypium hirsutum L.* Estos autores detectaron anormalidades en la flor (extensión del estigma e indehiscencia de anteras) en todas las variedades que se sometieron a estrés de calor durante 14 días.

La respuesta de las plantas de algodón a las altas temperaturas está altamente relacionada con el estatus de agua de la planta; en este sentido la reducción de la humedad del suelo puede potenciar los daños, especialmente cuando las altas temperaturas ocurren en períodos de rápido crecimiento y expansión de las hojas (McDaniel, 1982). El algodón cultivado en suelos arenosos manifiesta más rápidamente daños por calor que en suelos arcillosos. La retención de agua resulta inferior en suelos arenosos y la temperatura en hoja aumenta más rápidamente que en un suelo que tenga mayor capacidad de retención de agua.

En nuestro país se han realizado estudios sobre el efecto de las altas temperaturas (López *et al.*, 2002) y un proyecto específico en los años 2001-2002 utilizando 39 variedades diferentes considerando dos tipos de ensayo, uno en las condiciones climáticas normales del año (tratamiento control) y otro empleando una cobertura plástica por encima del cultivo en los momentos posteriores a la floración para simular condiciones de alta temperatura (López *et al.*, 2003 a y b).

En el año 2001 las diferencias medias en producción de las 39 variedades entre los dos tratamientos (control y con cobertura plástica) fue de un 20% a favor del control, aunque en el campo varietal las distinciones entre el tratamiento control y el de estrés podían llegar a casi el 50% en algunas variedades. En el año 2002 resultaron del 15% y del 30%, respectivamente. Las menores diferencias del año 2002 respecto al 2001 en lo que se refiere a tratamiento control y con cobertura plástica se debieron a las bajas temperaturas del primero, de forma que la cobertura plástica hizo menos efecto que en el 2001 en lo que a estrés de calor respecta.

Los resultados han puesto de manifiesto la existencia de distinciones varietales significativas y la importancia del número de cápsulas (retención) y el peso de éstas en lo que a resistencia a altas temperaturas se refiere. Si bien parece que en nuestras condiciones el número de cápsulas es fundamental, resultan esenciales dos aspectos a la hora de disponer de variedades resistentes al calor: que la variedad retenga el mayor número de órganos fructíferos y que las cápsulas sean de buen tamaño. Éste se puede seleccionar en condiciones normales sin estrés de calor, dado que constituye una característica altamente heredable; no ocurre lo mismo con el número de cápsulas, ya que puede bajar drásticamente bajo condiciones de estrés. En este sentido, la selección *in situ* resulta de primordial importancia (López *et al.* 2003 b).

En general las variedades

La mejora por tolerancia al calor ha sido un objetivo prioritario del programa de mejora de algodón pima en Arizona desde la década de los 50

autóctonas españolas muestran una buena resistencia al calor con una alta estabilidad en producción en condiciones de calor y no calor. Esto es lógico dado que el calor ha estado presente en todos los trabajos de mejora genética realizados (Gutiérrez, 1999) y porque la resistencia al calor está altamente relacionada con una serie de características asociadas a la tolerancia a la sequía o falta de agua, aspecto típico de las variedades autóctonas españolas. La alta tasa fotosintética y conductancia estomática de la variedad (Gutiérrez, 1997; El Dahan *et al.*, 2002, 2003) parental de la mayoría de las variedades públicas presentes en el mercado, como *Carlota, Conchita o Rosita*, puede explicar la alta tolerancia al calor y las menores necesidades de agua de estas variedades.

La fotosíntesis (Guinn, 1998) y la conductancia estomática se han relacionado con la tolerancia al calor (Lu y Zeiger, 1994). Este carácter podría usarse como criterio de selección en programas de mejora para tolerancia al calor. Otro carácter que parece estar vinculado a la tolerancia al calor es la menor área foliar y la menor temperatura de la hoja (Lu *et al.*, 1996), aspecto también típico de las variedades autóctonas españolas. El enfriamiento de la hoja producido por la actividad transpiratoria y el mantenimiento de la actividad fisiológica seguramente podrían explicar la correlación significativa entre conductancia estomática y producción de algodón observada por Radin *et al.* (1994) y en Andalucía por El Dahan *et al.* (2002).

Se han realizado pocos programas de mejora genética al calor de forma específica y dirigida solamente a este estrés abiótico. La mejora por tolerancia al calor ha sido un objetivo prioritario del programa de mejora de algodón pima en Arizona desde la década de los 50 (Feaster y Turcotte, 1985). La mejora del algodón pima para incrementar su rendimiento en el caluroso y árido suroeste de Estados Unidos ha resultado en un incremento en la conductancia estomática de los cultivos más productivos (Lu *et al.*, 1996), lo que coincide con lo ocurrido en las variedades autóctonas españolas. Una explicación a este fenómeno radica en que la mayor conductancia estomática incrementa el enfriamiento por evaporación reduciendo el estrés térmico y produciendo una resistencia al calor por escape o evitamiento de éste.

INTEGRAL TÉRMICA

Una de las funciones más usadas en la mayoría de los aspectos relativos al cultivo del algodón es la integral térmica, es decir, las Unidades de Calor (*Heats Units*) o Grados-Día (GD) acumulados diariamente durante la estación de crecimiento.

Muchos de los estadios fisiológicos del cultivo se calculan utilizando los GD

y en buena parte el rendimiento del cultivo depende de la longitud de la estación de crecimiento y de los GD acumulados durante la misma. Para calcular los GD diarios se utiliza una temperatura umbral, que es considerada como la temperatura media mínima de crecimiento de la planta de algodón, que varía según países y bibliografía, aunque la más empleada es 15,5 °C, equivalente a 60 °F. Los GD diarios se calculan según la fórmula Tmáx-Tmín/2-15,5.

En términos reales se puede considerar que la estación de crecimiento de algodón en la zona de Alcalá del Río va desde mediados de abril hasta mediados de octubre (180 días), o sea, una estación de crecimiento de seis meses con faltas de acumulación de calor al principio y al final y con una integral térmica media de 1.320 GD.

En condiciones normales lo lógico es que exista una relación lineal entre integral térmica y rendimiento, por lo que cabe esperar incrementos en el rendimiento al aumentar la integral térmica en la ausencia de otros factores limitantes. Si bien el uso de los GD o integral térmica resulta útil para predecir el crecimiento y desarrollo fenológico de la planta de algodón, es muy importante conocer las limitaciones que un mal uso de este parámetro puede conllevar. Estudios llevados a cabo en Australia en ambiente controlado por Milroy y Bange (1998) indican que el uso de GD tiene deficiencias a la hora de predecir el desarrollo de la planta, principalmente cuando se dan temperaturas altas, dado que la función usada para calcular los GD no refleja con precisión el desarrollo del algodón con estas temperaturas.

Se han intentado utilizar en Andalucía diferentes modelos de simulación de crecimiento en buena parte basados en la temperatura, pero no han sido lo suficientemente precisos para predecir los rendimientos y el crecimiento del algodón en nuestras condiciones (Gutiérrez *et al.*, 2000).

El lector puede consultar la bibliografía empleada en: **eurogenetic@eurosemillas.com**