ITEA (1999), Vol. **95V N.° 3,** 267-288

EFECTO DEL RIEGO REFRESCANTE POR ASPERSIÓN EN LA MEJORA DEL COLOR Y DE LA CALIDAD EN MANZANAS CV. 'TOPRED DELICIOUS'

I. Iglesias*
J. Graell**
G. Echevarría**
M. Vendrell***

* Estació Experimental de Lleida-IRTA
Avda. Rovira Roure, 177, 25198-Lleida

** Área de Postcollita, Centre UdL-IRTA
Rovira Roure, 177, 25198-Lleida

*** CSIC-Centro de Investigación y Desarrollo
Jordi Girona, 18-26, 08034-Barcelona

España

RESUMEN

La influencia del riego refrescante por aspersión en la coloración de la variedad 'Topred Delicious' (*Malus domestica* Borkh.) se ha evaluado en la zona frutícola de Lérida (NE España) durante dos años. El riego refrescante por aspersión se aplicó diariamente durante dos horas los 25 a 30 días que precedieron a la recolección comercial, evaluándose tres momentos de aplicación: al amanecer, al mediodía y al anochecer, con un control sin la aplicación de riego refrescante. Las determinaciones del color se realizaron con un colorímetro triestímulo utilizando el sistema CIE [1976] L*a*b*, que permite una determinación objetiva de dos de los atributos visuales del color: L* (luminosidad) y Tono. La mejora del color en los frutos refrescados, especialmente cuando el riego se aplicó al anochecer y al amanecer, se tradujo en valores de cromaticidad en el espacio CIE [1976] L*a*b* que indicaban una mayor coloración, menores valores de L* y mayores valores de a*/b* y del Tono y en contenidos de antocianos más elevados. Las temperaturas mínimas debidas ya sea por el riego refrescante o por el factor año tuvieron un efecto directo en el color de los frutos, siendo tanto el factor año como su interacción con las fechas de muestreo significativos; la interacción tratamiento x fecha fue también significativa. En 1993, las temperaturas más bajas en el período que precedió a la recolección, favorecieron una mejor coloración de los frutos en todos los tratamientos con respecto a 1994. En el momento de la recolección y para los dos años, la regresión lineal entre el contenido de antocianos y los valores de cromaticidad, proporcionó valores de R^2 = 0,80, 0,79 y 0,78, para L*, a*/b* y Tono, respectivamente. Dicha relación ha permitido el uso del colorímetro para estimaciones rápidas, objetivas y no destructivas del contenido de antocianos del fruto. El peso, en 1994, la firmeza de los frutos y el contenido de sólidos solubles fueron significativamente mayores en los frutos refrescados que en los de control, sin un efecto consistente del riego refrescante en la acidez.

Palabras clave: Manzana, Fruto, Enfriamiento, Riego por aspersión, Color, Antocianos, Calidad.

SUMMARY

ORCHARD COOLING WITH OVERTREE SPRINKLER IRRIGATION TO IMPROVE FRUIT COLOUR AND QUALITY OF 'TOPRED DELICIOUS' APPLES

The influence of evaporative cooling irrigation by sprinkler irrigation on fruit colour of 'Topred Delicious' apples (*Malus domestica* Borkh.) was evaluated in the area of Lérida (NE Spain) over a two-year period. Cooling irrigation was applied daily for two hours for 25 to 30 days preceding harvest date. Three cooling treatments were evaluated: sprinkler irrigation applied at sunrise, at midday and at sundown, with a control without sprinkler irrigation. Colour measurements were made with a tristimulus colorimeter using the CIE [1976] L*a*b* system, providing an objective determination of two main visual attributes of colour: Lightness and Hue. Fruit colour was affected by the cooling irrigation and also by the weather conditions of the particular year. Improvement of colour in cooled fruits, especially when the sprinkler irrigation was applied at sunrise and at sundown, was followed by better chromaticity values of CIELab tristimulus space and higher anthocyanin content. Variations in fruit color from year to year can be attributed to seasonal environmental differences; the minimum temperatures, due to the current season or to the cooling irrigation, had a direct effect on fruit color, and consequently the season factor and also its interaction with the sampling dates were significant. The interaction treatment x sampling dates was also significant. In 1993 lower temperatures prior to commercial harvest provided better fruit color in all treatments in comparison to 1994 in which average temperatures were warm. At commercial harvest, a linear regression for all seasons of anthocyanin content on the ratio of L, a*/b* and Hue provided and R^2 = 0.80, 0.79 and 0.78, respectively. These relationships alow to use the colorimeter for rapid, non destructive estimation of fruit anthocyanin content. The minimum temperatures, due to the current season in 1993 had a direct effect on fruit colour, and consequently the climatic factor has a significant interaction with this parameter. Fruit weight, in 1994, firmness and soluble solids concentrations were significantly higher in cooled fruits than the control, whereas titratable acidity was not influenced consistently by the evaporative cooling.

Key words: Apple, Fruit, Cooling, Sprinkler irrigation, Colour, Anthocyanin, Fruit quality.

Introducción

En variedades rojas de manzana el color de la epidermis determina en gran medida su aceptación por el consumidor y es uno de los principales atributos que determina las diferentes categorías para su comercialización en los países de la Unión Europea, constituyendo la baja coloración una causa importante de reducción de categoría que se asocia generalmente con una menor calidad. En climas poco favorables a la coloración, la fecha de recolección a menudo depende de que se alcance el grado de color característico de la variedad, por lo que ésta suele retrasarse disminuyendo la calidad y la aptitud a la conservación en frigorífico y predisponiendo los frutos a la harinosidad. Este problema es especialmente importante

en la mayoría de áreas de producción mediterránea como la de Lérida, con condiciones climáticas poco favorables para el desarrollo del color y donde las variedades rojas del grupo 'Delicious' constituyen el 18% de la superficie cultivada de manzana, siendo 'Starking Delicious' la variedad más cultivada, aunque en fuerte regresión los últimos años debido a su deficiente coloración, especialmente en años con elevadas temperaturas en el período que precede a la recolección.

El principal pigmento responsable del color rojo es el antociano cianidin-3-galactosido o idaeina. Los antocianos derivan del ácido cinámico por desaminación de la L-fenilalanina, reacción catalizada por la fenilalanina ammonia-lyasa (PAL), cuya actividad está estrechamente relacionada con la síntesis y acumulación de antocianos (FARAGHER y BROHIER, 1984; CHENG y BREEN, 1991; IGLESIAS *et al.*, 1999). Su actividad se ve afectada entre otros por dos factores ambientales: la temperatura (CREASY, 1968; ARAKAWA, 1991) y la luz (ARAKAWA, 1988; CURRY, 1997), que son clave para el desarrollo de la pigmentación roja. Los niveles de antocianos en la piel de las manzanas están inversamente relacionados con la temperatura de la plantación y elevadas temperaturas nocturnas y/o diurnas son inhibitorias para su acumulación, dado que incrementa la inactivación de la PAL (FARAGHER, 1983). Es por ello que las manzanas colorean mejor en climas con días claros y noches frescas en el período que precede a la recolección, 20 a 25 días antes, dado que es cuando tiene lugar el desarrollo del color en la mayoría de variedades (CHALMERS *et al.*, 1973). En general, temperaturas nocturnas por debajo de los 18°C y temperaturas diurnas moderadas (20-25°C) incrementan la formación del color rojo, pero temperaturas diurnas elevadas pueden contrarrestar el efecto positivo de temperaturas nocturnas frescas. Diferencias de temperaturas debidos al factor año, o su disminución por el efecto del riego refrescante, tienen una influencia directa en la coloración de los frutos (UNRATH, 1972a; RECASENS, 1982; MAYLES, 1989).

La producción de antocianos depende principalmente de los carbohidratos formados durante la fotosíntesis y el metabolismo de la glucosa en las hojas y transportados hacia el fruto. Algunos de estos carbohidratos se transforman eventualmente en pigmentos vía complejas reacciones bioquímicas (WILLIAMS, 1989; LANCASTER, 1992). Una disminución de las temperaturas máximas (mediodía) o mínimas (anochecer) de la plantación frutos afecta a la síntesis de antocianos dado que a menores temperaturas nocturnas la tasa de respiración (un proceso que consume carbohidratos) es menor, lo que permite la acumulación de fotosintatos e incrementa la cantidad de pigmentos. La disminución de las temperaturas máximas incrementa la fotosíntesis dado que tanto la transpiración como el estrés de la planta disminuyen. Adicionalmente a la disminución de temperaturas, el incremento de la humedad relativa en la atmósfera más cercana a la planta durante períodos de intensa transpiración mediante cualquier técnica (habitualmente el riego por aspersión o microaspersión) ayuda a prevenir el desarrollo de déficits hídricos elevados (CAROLUS, 1971; RECANSENS *et al.*, 1988). De esta manera, las modificaciones de temperatura ocasionadas por el riego refrescante o las variaciones en las temperaturas debidas al factor año afectan a la síntesis de antocianos y a la coloración de los frutos. Además, temperaturas mínimas bajas son claves y tienen mayor importancia que salto térmico noche-día para el incremento de la actividad de la PAL, principal enzima

precursora de los antocianos (FARANGHER y BROHIER, 1984; BLANKENSHIP y UNRATH, 1988).

En climas cálidos, el riego refrescante por aspersión puede crear un microclima más adecuado para la coloración moderando las condiciones ambientales extremas y reduciendo el estrés provocado por la baja humedad ambiental. Su efecto en la síntesis de antocianos y en la coloración de los frutos ha sido correlacionado con la disminución de temperaturas, tanto máximas como mínimas. Dicha disminución es especialmente importante durante los 20-25 días que preceden a la recolección (RECASENS *et al.*, 1988; ARAKAWA, 1991; WILLIAMS, 1993). Varios autores sugieren que los cambios en el potencial de acumulación de antocianos, es decir la transición de estadios inmaduros a maduros, y en la regulación de su acumulación se da alrededor de las 2 ó 3 semanas previas a la recolección en la mayoría de variedades (CHALMERS *et al.*, 1973) coincidiendo con la degradación de clorofilas; mientras que en las de alta coloración dicha transición tendría lugar mucho antes (CURRY, 1997). Paralelamente REAY *et al.* (1998) encontró que las concentraciones de antocianos eran bajas durante la mayor parte del período de crecimiento y que éstos se incrementaban rápidamente al iniciarse la maduración, especialmente en la cara del fruto más expuesta a la luz.

Una alternativa para disminuir el problema de la falta de color es la introducción de nuevas variedades con un elevado potencial de coloración, incluso en zonas cálidas (IGLESIAS, 1990; GRAELL *et al.*, 1993; CURRY, 1997). Mientras, en plantaciones ya establecidas diferentes técnicas han sido aplicadas para la mejora del color como es la aplicación de reguladores de crecimiento, aunque las restricciones legales impuestas los últimos años para su utilización significa que el riego refrescante sea una de las pocas posibilidades que disponen actualmente los productores para la mejora del color. Ya desde la década de los años 70, experiencias realizadas con variedades 'Delicious' han puesto de manifiesto la mejora del color y el incremento de calibre por la aplicación del riego refrescante (UNRATH, 1972a,b; RECASENS y BARRAGÁN, 1981; WILLIAMS y MAYLES, 1989; EVANS, 1993a; WILLIAMS, 1993; IGLESIAS *et al.*, 1999), especialmente bajo condiciones ambientales de áreas cálidas con elevadas temperaturas estivales (> 35°C) y baja humedad relativa. El enfriamiento en este tipo de riego se debe a que la evaporación del agua necesita una cantidad considerable de calor (584 cal/g), la cual procede directamente de la radiación solar o de cualquier parte que esté en contacto con el agua en evaporación (hojas, frutos, etc.), dependiendo de las condiciones climáticas (humedad, viento), de la pluviometría aplicada y del tamaño de gota (menor tamaño más evaporación antes de llegar a la planta). Un film de agua debe estar presente en la totalidad de la superficie del fruto para una evaporación y una disminución de temperatura efectivos.

El presente trabajo resume los resultados obtenidos durante dos años (1993 y 1994) con la variedad 'Topred Delicious' acerca del desarrollo del color bajo la influencia del riego refrescante en la zona frutícola de Lleida. Los objetivos del presente estudio son conocer el efecto de la aplicación de diferentes estrategias de riego refrescante por aspersión en la coloración de los frutos y en la calidad, así como relacionar el contenido de antocianos con los valores de cromaticidad medidos instrumentalmente.

Material y métodos

Material vegetal y diseño experimental

El presente estudio se realizó durante los años 1993 y 1994 con la variedad de manzana 'Topred Delicious' (*Malus domestica Borkh.*) injertada sobre el patrón M-9 en una plantación comercial de Torrefarrera (Lleida, NE de España), plantada en 1987. El suelo se clasificó como Xerochrept Fluventic, limoso, fino, mixed, mésico (SS, 1992). El sistema de formación utilizado fue el eje central con un marco de plantación de 4 x 1,5 m y orientación de las líneas en la dirección Norte-Sur. Suelo franco-arcilloso con una profundidad enraizable de 0,80 m. El sistema de riego fue a manta con un intervalo de 16 a 20 días. Las precipitaciones estivales fueron escasas y la pluviometría media anual de los dos años fue de 302 mm. Las temperaturas fueron las típicas de climas calurosos, con máximas en el mes de julio próximas o superiores a los 40°C y mínimas estivales también elevadas, generalmente superiores a los 20°C. En el período previo a la recolección las temperaturas tanto máximas como mínimas fueron superiores en 1994 con respecto a 1993 (figura 1).

Dos tratamientos de riego refrescante por aspersión fueron evaluados en 1993, riego aplicado al mediodía y riego aplicado al anochecer. En 1994 se evaluó adicionalmente la aplicación del riego al amanecer. De referencia se dispuso de un testigo sin la aplicación de riego refrescante. La parcela se dividió en 3 subparcelas que correspondieron a las repeticiones o bloques, con una longitud de 70 m cada uno, de los cuales

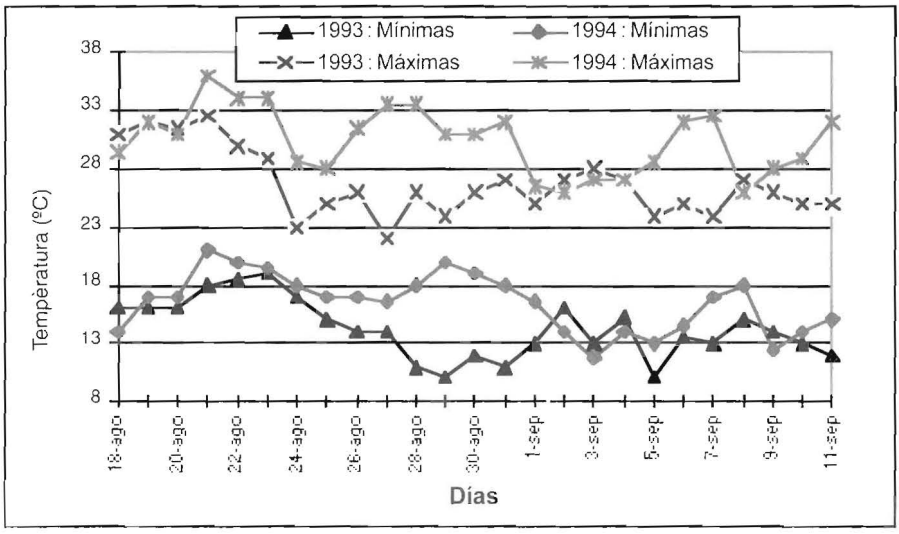


Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas diarias en el período 18 de agosto-11 de septiembre de los años 1993 y 1994

Figure 1. Maximum and minimum daily temperatures in the period 18 August- 11 September for two growing seasons: 1993 and 1994

los 30 m centrales fueron sometidos a los diferentes tratamientos de riego y los 20 restantes de cada extremo del bloque se utilizaron de borde (tamaño suficiente para asegurar un microclima efectivo en el centro de cada bloque donde se determinaron los diferentes parámetros). Dentro de cada bloque la distancia entre los árboles correspondientes a los diferentes tratamientos fue 20 m (5 filas). Cada tratamiento fue asignado aleatoriamente dentro de cada bloque, de cada uno de los cuales se asignó una tercera parte de la superficie a cada tratamiento en 1993, mientras que en 1994 se asignó una cuarta parte a cada uno, por haber un tratamiento más. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones por cada tratamiento, eligiendo 5 árboles/tratamiento, constituyendo el árbol la unidad experimental. Los 5 árboles de cada bloque y tratamiento fueron elegidos por uniformidad, tamaño y producción; estaban situados dentro de una misma línea de plantación y localizados en la parte central de los 30 m regados de cada bloque.

Las muestras de frutos fueron recogidas durante el mes previo a la recolección comercial y en la fecha de la recolección. En tres fechas en 1993 y en 4 fechas en 1994, en el período comprendido entre principios de agosto y la recolección (8-11 de septiembre). Las muestras para la evaluación del color en las fechas previas a la recolección consistieron en 8 frutos aleatoriamente elegidos localizados entre 1,5 y 2 m de altura de cada uno de los 5 árboles de cada una de las tres repeticiones por tratamiento (40 frutos/tratamiento y repetición, 120 frutos/tratamiento). En la recolección comercial las muestras estaban constituidas por 14 frutos/árbol (70 frutos/tratamiento /repetición, 210 frutos/tratamiento); complementariamente, se tomaron submuestras de 20 frutos de cada bloque (60 frutos/tratamiento) para determinar el calibre y los parámetros de calidad. La recolección comercial se realizó 140 días después de la plena floración.

Riego refrescante por aspersión

Como complemento al riego a manta (intervalo de riego de 16 a 20 días), se disponía de riego por aspersión para la protección antihelada que fue el que se utilizó en el presente estudio para el riego refrescante, el cual se inició de 25 a 30 días antes de la fecha prevista para la recolección comercial aplicándose por un período ininterrumpido de 2 horas diarias: mediodía (15-17 h) y al anochecer (21-23 h). Además en 1994 se realizó un tercer tratamiento: al amanecer (6-8 horas). Se dispuso de árboles de control sin la aplicación de riego refrescante. Los aspersores estaban dispuestos a un marco de 18 x 16 m, con un caudal de 1.110 l/h lo que proporcionaba una precipitación de 3,5 mm.h-1, es decir 7 mm diarios. Dado el tamaño de gota las pérdidas por evaporación son elevadas, especialmente cuando el riego refrescante se aplica al mediodía (hasta el 50%). Las modificaciones de temperatura y humedad originadas por el riego refrescante se determinaron mediante la colocación de termohigrógrafos Jules Richard Instruments 6500 en cada uno de los bloques correspondientes a los diferentes tratamientos. La temperatura interna de los frutos se determinó con un termómetro digital Crison con sonda de contacto.

Medida del color de los frutos

El color de las manzanas se determinó con un colorímetro portatil triestímulo

Minolta Chroma Meter CR-200 (Minolta Co, Osaka, Japón), expresándose los valores de cromaticidad en las coordenadas L*, a* y b* propuestas por la Commission Internationale d'Eclairage (HUNTER, 1975). El colorímetro se calibró en condiciones del iluminante C (6774K) con un blanco standard antes de su uso. En el sistema de color CIEL*a*b* los valores de L*, a* y b* describen un espacio de color tridimensional, donde los valores de L* corresponden al brillo o luminosidad (0 para el color negro; 100, blanco), los de a* escala verde-roja (valores negativos verde y positivos rojo) y los de b* a la azul-amarilla (negativos azul; positivos, amarillo). A partir de dichos valores se deriva matemáticamente el Tono a partir de la fórmula arctan (b*/a* x 57,3) y la relación a*/b*.

Inmediatamente después de la recogida de muestras, los frutos se limpiaron con una gamuza húmeda con el objeto de eliminar cualquier resto de polvo o productos fitosanitarios. Para cada fecha de muestreo, el color se determinó situando la ventana de medición del colorímetro, de 8 mm de diámetro, en el punto medio entre el cáliz y la zona peduncular de ambas caras de cada fruto separadas 180°: la cara roja expuesta a la luz del sol (CE), y la cara sombreada (CS). En cada cara y próximas unas de otras se realizaron 3 mediciones, proporcionando el colorímetro su valor medio.

Contenido de antocianos

La determinación cuantitativa del contenido de antocianos se realizó en la mismas dos partes del fruto donde se había medido el color e inmediatamente después de haberse determinado el mismo. Los antocianos se extrajeron a partir de la piel de las manzanas introduciendo en maceración dos discos de cada cara del fruto de 11 mm de diámetro en 10 ml de solución metanol-(HCl)-agua 50:1:49 (v/v). La extracción se llevó a cabo durante 24 horas a 4°C y en la obscuridad. La absorbancia del extracto se midió con un espectofotómetro UV-VIS Cecil 1000 series (Cecil Instruments, Cambridge, Inglaterra) a 532 nm y la concentración de antocianos se calculó utilizando el coeficiente de extinción molar 3,43x104, expresándose los resultados en $nmol.cm^{-2}$.

Parámetros de calidad

La firmeza se determinó con un penetrómetro portatil (Effegi, Alfonsina, Italia) con pistón de 11 mm, realizando dos determinaciones en las dos caras peladas y opuestas de cada uno de los 20 frutos de cada tratamiento y repetición, el resultado se expresó en kg. La concentración de sólidos solubles se realizó sobre una muestra procedente de los 20 frutos anteriormente mencionados, utilizando un refractómetro digital calibrado Atago-Palette 100 (Atago Co., Tokio, Japón); expresando el resultado en °Brix (%). La acidez titulable se obtuvo a partir de la misma muestra mediante valoración con NaOH 0,1 hasta pH 8,2 y se expresó en gramos de ácido málico. l^{-1}.

Análisis de los datos

Con los valores de cromaticidad, contenido de antocianos y calidad de los frutos se realizó el análisis de la varianza con el software del programa SAS; la significación estadística se estableció para $p \leq 0.05$. Cuando el análisis de varianza fue estadísticamente significativo (F-test), se aplicó el test de Duncan para la separación de medias de los diferentes tratamientos de las variables estudiadas, para las diferentes fechas de recolección y años. Las diferen-

cias entre tratamientos se evaluaron mediante un modelo factorial de análisis de la varianza (con años, tratamientos, árboles, frutos, caras del fruto y repeticiones) utilizando el procedimiento General Linear Model (GLM) del Statistical Analysis System (SAS, 1990), con un diseño en bloques al azar para determinar la significación estadística de los factores y de sus interacciones. Los valores originales de color (cromaticidad, contenido de antocianos) y los parámetros de calidad fueron directamente utilizados dado que presentaban un distribución normal. Se realizó el análisis de regresión entre los valores de cromaticidad (L*, a*, b*, a*/b* y Tono), y el contenido de antocianos utilizando diferentes modelos de regresiones lineales simples y múltiples. Así mismo, se calcularon los coeficientes de determinación (R^2) y la significación de dichos modelos.

Resultados y discusión

Efecto del riego refrescante en la temperatura y humedad relativa ambientales

La evolución de la temperatura y la humedad relativa de la plantación durante dos de los días en los cuales se aplicaron las tres estrategias de riego refrescante de forma ininterrumpida durante dos horas se muestra en la figura 2. Tanto en el control como en el riego al anochecer y al amanecer, las temperaturas máximas se alcanzaron alrededor de las 4 de la tarde y las mínimas entre las 7 y las 8 de la madrugada. En comparación con el control, puede observarse que tanto la temperatura como la humedad atmosférica se modificaron significativamente por el riego refrescante. Sin embargo, dichas modificaciones dependieron de la hora en que se inició el riego (mediodía, anochecer, amanecer), de la duración del riego y de la temperatura y humedad ambientales.

Cuando el riego refrescante se aplicó a mediodía (15-17h) la temperatura máxima fue entre 4 y 8°C inferior al control o testigo y al finalizar el riego se incrementó rápidamente aunque sin alcanzar la del control. La humedad relativa aumentó entre el 30 y el 50% con respecto al control, alcanzando valores próximos al 80%. La baja humedad existente cuando el riego se inicia (30-40%) es beneficioso para el enfriamiento del fruto, dado que la evaporación de agua a la atmósfera no se ve limitada por la humedad, por lo que es mayor el enfriamiento de los diferentes partes de la planta en contacto con el agua (frutos, hojas, etc.) (LOWELL, 1981). Cuando el riego refrescante se aplicó al anochecer (21-23h), la temperatura mínima diaria fue entre 3 y 5°C inferior al control (figura 1); sin embargo, el potencial para disminuir la temperatura es menor, dado que la humedad ambiental en el período en que el riego es aplicado es más elevada que al mediodía, alcanzándose rápidamente la saturación (cerca del 95%) y quedando por tanto más limitada la capacidad evaporativa y el enfriamiento, a pesar de ello el fruto se encuentra durante un mayor período de tiempo a temperaturas más bajas, con respecto al riego aplicado al amanecer y al mediodía. La aplicación del riego al amanecer (6h-8h), permite realzar el efecto beneficioso que tiene en el color, la disminución de temperaturas que se produce de forma natural hasta la salida del sol o punto de rocío; disminuyendo la temperatura mínima entre 2 y 4°C, con respecto al testigo, y entre 1 y 3°C, con respecto al riego al anochecer. La disminución de tem-

peratura, no es tan importante como en el riego al mediodía o el riego al anochecer, dado que existe como factor limitante la elevada humedad ambiental existente mientras dura el riego y que se aproxima a la saturación (94-98%).

Efecto del riego refrescante por aspersión en la temperatura interna de los frutos

Se determinaron en las mismas cuatro fechas de 1993 y 1994, las temperaturas de los frutos correspondientes a los diferentes tratamientos de riego en comparación con el testigo y para frutos situados a la sombra (cuadro 1), de posiciones similares del árbol y calibre similar. La temperatura de los frutos del testigo situados al sol a las 17 horas, era superior, en unos 9°C, a la de los frutos situados en la sombra, alcanzándose en el testigo valores de hasta 48°C. La temperatura del agua de riego era elevada (> 28°C a principios de agosto), y ello probablemente influyó a que el enfriamiento fuera menor; sin embargo, el enfriamiento depende en gran medida de la evaporación del agua depositada en los frutos, o evaporada del ambiente antes de llegar e ellos (Williams y Mayles, 1989; Evans, 1993b) más que de su temperatura en el momento de aplicarse.

Con el riego al anochecer, tanto la temperatura del fruto como la del ambiente, se disminuyó de media alrededor de 3°C con respecto al testigo. El riego al mediodía fue el que originó las mayores disminuciones (hasta 7°C el día 12 de agosto) aproximándose de media a los 5°C, debido a que provocó una evaporación máxima, y por tanto un mayor enfriamiento, en comparación con los otros tratamientos (anochecer y amanecer), en los que la temperatura al iniciarse el riego era también inferior y además se alcanzó más rápidamente la humedad relativa máxima, lo que limitó el enfriamiento. El riego al amanecer provocó

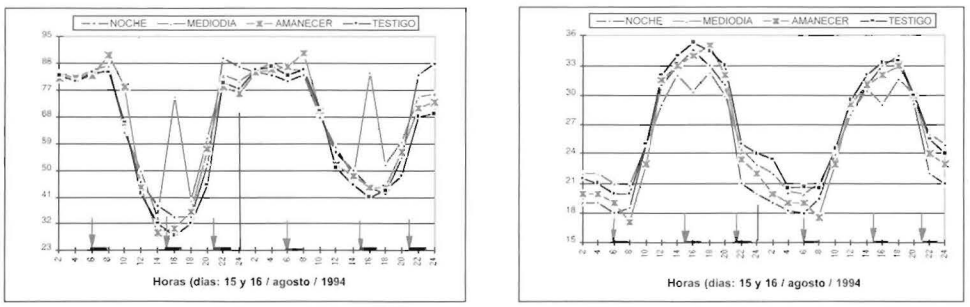


Figura 2. Efecto de tres tratamientos de riego refrescante por aspersión (mediodía, anochecer y amanecer) aplicados de forma continua durante dos horas (—), en la temperatura y en la humedad relativa ambiental horarias. La figura corresponde a los días 15 y 16 de agosto de 1994. Las flechas (↓)indican el momento de inicio del riego

Figure 2. Effect of two evaporative cooling treatments (midday and sunset) applied continuously for 2 hours (—) on the orchard air temperature and relative humidity on 8 and 9 August 1992. The times at which irrigation treatment was activated are indicated by arrows (↓)

CUADRO I

VALORES MEDIOS PARA CUATRO FECHAS DE 1993 Y 1994, DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DE LA TEMPERATURA INTERNA DE LOS FRUTOS, BAJO DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO REFRESCANTE POR ASPERSIÓN EN LA VARIEDAD 'TOPRED DELICIOUS'. LA TEMPERATURA CORRESPONDE, EN CADA FECHA, AL MOMENTO EN QUE FINALIZÓ LA APLICACIÓN DE CADA UNA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE RIEGO, COMPARÁNDOSE EN CADA MOMENTO CON EL TESTIGO

TABLE I

AVERAGE ORCHARD TEMPERATURE AND INTERNAL FRUIT TEMPERATURE CORRESPONDING TO FOUR DATES OF 1993 AND 1994 ON 'TOPRED DELICIOUS' APPLES UNDER SEVERAL COOLING IRRIGATION TREATMENTS, MEASURED JUST AT THE MOMENT THAT COOLING IRRIGATION STOPED AND COMPARED TO EACH TIME WITH THE CONTROL WITHOUT COOLING IRRIGATION

Fechas	Tª fruto (23 h)		Tª ambiente (23 h)		Tª fruto (17 h)		Tª ambiente (17 h)		Tª fruto (8h)		Tª ambiente (8h)	
	Noche	Testi.	Noche	Testi.	Medi.	Tes.	Medi.	Tes.	Aman.	Testi.	Aman.	Testi.
12 agosto	22,7 *	26,1	21,3	25,6	29,7	36,5	33,1	35,8	16,8	18,9	18,1	20,9
18 agosto	17,5	20,2	18,0	19,4	26,9	31,9	31,6	34,4	14,3	15,8	14,9	16,9
1 septiem.	19,0	22,6	20,5	21,7	29,4	31,8	27,6	30,8	17,0	18,6	17,0	18,8
8 septiem.	13,0	15,2	13,4	15,6	25,7	28,6	25,6	27,8	18,1	20,1	19,2	20,9
MEDIA	18,0	21,1	18,3	20,6	27,9	32,2	29,4	32,2	16,5	18,3	17,3	19,4

(*): Cada valor corresponde a la media de 6 determinaciones.
(Tes.): Testigo.
(Medi.): Riego al mediodía.
(Aman.): Riego al amanecer.

disminuciones de temperaturas, tanto en el fruto como en el ambiente, alrededor de los 2°C (cuadro I).

A pesar de que en los riegos al anochecer y al amanecer, la disminución de la temperatura del fruto es menor, éste permanece durante más tiempo a temperaturas más bajas, en comparación con el riego al mediodía. En este caso, una vez finalizado el riego, la temperatura vuelve a incrementarse rápidamente, debido a que las temperaturas a las 17 h son todavía elevadas. Por tanto, es probable que la disminución de la temperatura pueda actuar de forma diferente en la síntesis de antocianos, según el tipo de riego, dado que en los riegos al anochecer y al amanecer, se disminuye la temperatura mínima y se aumenta el tiempo en que los frutos se encuentran a más baja temperatura; mientras que en el riego al mediodía, únicamente se disminuye la temperatura máxima en un período de tiempo más corto. Resultados similares se han obtenido por otros autores en experiencias de riego refrescante por aspersión aplicado de forma cíclica o continua en el momento de máximas temperaturas (WILLIAMS y MAYLES, 1989; WILLIAMS, 1993; KOTZÉ *et al.*, 1996), o al amanecer y al anochecer (EVANS, 1993a).

Efecto del riego refrescante en la evolución de los valores de cromaticidad del fruto

Los valores correspondientes a la primera fecha, antes de que se iniciaran los riegos, no presentan diferencias entre tratamientos (cuadro 2) en ninguno de los dos años estudiados. Durante el proceso de maduración y debido al incremento del color de los frutos, los valores de L* y del Tono disminuyen y la relación a*/b* aumenta. En la fecha previa a la recolección comercial (1993) se dieron diferencias significativas para todos los parámetros si se considera la cara expuesta (CE) o bien la media de las dos caras (M). En todos los casos los valores de los parámetros colorimétricos indican una mayor coloración de los frutos en los que el riego refrescante se aplicó al anochecer. Para el parámetro L*, considerando la media de caras, no existen diferencias significativas entre riegos.

En la fecha de recolección comercial se obtuvieron resultados similares a los expuestos para la fecha previa e indican que el color de los frutos se vio mejorado significativamente (menores valores Tono y mayores valores de a*/b*) con las dos estrategias de riego refrescante, aunque de forma significativa por el aplicado al anochecer. En base al parámetro L* no se dieron diferencias entre tratamientos.

En la segunda fecha de muestreo (19-agosto) de 1994 solamente se dieron diferencias para L* en la cara expuesta; mientras que en la fecha previa a la recolección (2-septiembre) se dieron diferencias significativas entre el control y los riegos aplicados al amanecer y al anochecer para todos los parámetros en la cara expuesta, pero no en la cara sombreada. En la fecha de recolección comercial se dieron diferencias significativas entre tratamientos, correspondiendo los menores valores de L* y de tono y los mayores de a*/b* a los riegos aplicados al amanecer y al anochecer, sin diferencias entre ambos, pero si con el control, que indicaban un mayor color de los frutos (cuadro 2).

Si se comparan los valores correspondientes a las caras, se observa que en 1993 los de la expuesta fueron aproximadamente el doble que los de la sombreada, mientras que en 1994 las diferencias fueron de más de 15 veces, por lo que la mejora del color se debió fundamentalmente al incremento de éste en la cara expuesta. Las diferencias entre años fueron también importantes, correspondiendo siempre la mayor coloración a 1993 (mayores valores de a*/b* y menores de L* y tono) que fue el año en que se dieron las condiciones climáticas más favorables (temperaturas mínimas hasta 10°C inferiores en el período que precedió a la recolección, figura 1) para la coloración de los frutos. Las máximas diferencias entre tratamientos para todos los parámetros se dieron en 1994, aunque en 1993 los valores de los diferentes parámetros, excepto L*, evidencian que el riego refrescante mejoró el color de los frutos, tanto si se consideran las dos caras como la media de ambas. Los valores de cromaticidad indican así mismo que ambos tratamientos de riego refrescante inducen un desarrollo del color más precoz en comparación con el testigo, puesto de manifiesto por la significación ($p \leq 0,01$) de la interacción fecha de muestreo x riego.

Efecto del riego refrescante en el contenido de antocianos

En el período muestreado el contenido de antocianos se incrementó progresiva-

CUADRO 2

INFLUENCIA DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO REFRESCANTE POR ASPERSIÓN EN LOS PARÁMETROS COLORIMÉTRICOS[Z] CORRESPONDIENTES A LA MEDIA DE LAS DOS CARAS DEL FRUTO (M), CARA EXPUESTA (CE) Y CARA SOMBREADA (CS), EN DIFERENTES FECHAS PREVIAS A RECOLECCIÓN (Y) Y EN LA FECHA DE RECOLECCIÓN COMERCIAL (F) DE LA VARIEDAD 'TOPRED DELICIOUS', AÑOS 1993 Y 1994

TABLE 2

AVERAGE COLOR MEASUREMENT VALUES [Ψ]DURING THE PERIOD PRECEDING THE COMMERCIAL HARVEST (Y) AND AT COMMERCIAL HARVEST (F), CORRESPONDING TO THE MEAN OF BOTH FRUIT SIDES (M), BLUSH SIDE (BL) AND BACK SIDE (BA) ON 'TOPRED DELICIOUS' APPLES UNDER SEVERAL COOLING IRRIGATION TREATMENTS IN 1993 AND 1994

1993 Parametro/				12 Agosto [Ψ]			25 Agosto [Ψ]			11 Septiembre [Φ]		
Tratamie.	M	CE	CS	M	CE	CS	M	CE	CS	M	CE	CS
*L**												
Noche	–	–	–	60,7 + a	56,1++ a	65,3++a	56,1+ b	52,2++ b	59,9++ a	*45,2 •a*	*42,9 •• a*	*47,6 ••*
a												
Mediodía	–	–	–	60,5 a	55,8 a	65,2 a	57,7 ab	54,7 a	60,8 a	*46,2 a*	*43,6 a*	*48,8 a*
Control	–	–	–	61,9 a	55,2 a	64,5 a	58,2 a	53,7 a	62,7 a	*47,1 a*	*44,9 a*	*49,3 a*
a/b**												
Noche	–	–	–	0,05 a	0,36 a	-0,25 a	0,38 a	0,69 a	0,07 a	*1,5 a*	*1,9 a*	*1,1 a*
Mediodía	–	–	–	0,08 a	0,41 a	-0,24 a	0,23 b	0,49 b	-0,02 a	*1,4 b*	*1,6 b*	*0,90 ab*
Control	–	–	–	0,14 a	0,50 a	-0,21 a	0,25 b	0,52 b	-0,03 a	*1,2 b*	*1,5 b*	*0,80 b*
Tono (°)												
Noche	–	–	–	87,5 a	71,3 a	103,8 a	72,8 b	60,0 b	85,7 b	*38,2 b*	*31,8 b*	*44,5 b*
Mediodía	–	–	–	85,7 a	68,8 a	102,7 a	78,7 a	66,5 a	91,0 a	*40,1 ab*	*32,6 b*	*47,7 ab*
Control	–	–	–	83,9 a	66,0 a	101,8 a	77,5 a	63,1 a	91,9 a	*45,6 a*	*34,9 a*	*56,3 a*

1994	6 Agosto[Ψ]			19 Agosto[Ψ]			2 Septiembre[Ψ]			8 Septiembre[Φ]		
*L**												
Noche	64,4 a	58,6 a	70,3 a	61,8 a	55,0 b	68,6 a	57,1 a	48,1 a	66,0 a	*54,4 ab*	*44,2 b*	*64,4 b*
Mediodía	64,8 a	59,5 a	70,2 a	62,2 a	54,2 a	70,2 a	58,4 a	49,2 a	67,6 a	*55,7 ab*	*45,3 ab*	*66,2 a*
Amanecer	64,2 a	57,7 a	70,8 a	62,0 a	54,1 a	69,8 a	55,7 b	46,3 b	65,1 a	*51,8 b*	*38,4 b*	*65,3 a*
Control	64,1 a	58,1 a	70,0 a	61,6 a	54,0 a	69,3 a	59,2 a	50,4 a	68,0 a	*57,4 a*	*45,9 a*	*69,0 a*
a/b**												
Noche	-0,06 a	0,31 a	-0,43 a	0,17 a	0,70 a	-0,35 a	0,57 a	1,30 a	-0,5 a	*0,93 a*	*1,9 a*	*-0,03 a*
Mediodía	-0,13 a	0,19 a	-0,45 a	0,13 a	0,63 a	-0,36 a	0,47 ab	1,10 ab	-0,17 a	*0,75 b*	*1,7 ab*	*-0,06 a*
Amanecer	-0,03 a	0,35 a	-0,42 a	0,12 a	0,56 a	-0,30 a	0,62 a	1,33 a	-0,10 a	*0,90 a*	*1,8 a*	*0,01 a*
Control	-0,09 a	0,25 a	-0,44 a	0,08 a	0,54 a	-0,38 a	0,35 b	0,90 b	-0,19 a	*0,59 b*	*1,3 b*	*-0,11 a*
Tono (°)												
Noche	95,6 a	77,9 a	113,3 a	87,9 a	66,7 a	109,1 a	70,8 a	43,0 a	98,6 a	*59,7 b*	*29,5 b*	*91,4 ab*
Mediodía	96,0 a	75,0 a	117,0 a	85,8 a	61,3 a	110,4 a	72,8 a	44,5 a	101,1 a	*64,8 ab*	*34,1 ab*	*95,5 ab*

CUADRO 2 (Continuación)

1994	6 Agosto[Ψ]			19 Agosto[Ψ]			2 Septiembre[Ψ]			8 Septiembre[Φ]		
Amanecer	91.9 a	72.4 a	111,5 a	87.1 a	64,8 a	109.3 a	69.4 a	41,0 b	97.8 a	*59,0 b*	*28,0 b*	*90,1 b*
Control	95.7 a	76.4 a	115,0 a	87.2 a	63,7 a	110.6 a	76.8 a	49.9 a	104.0 a	*68,2 a*	*39,0 a*	*97,3 a*

(+) Cada valor corresponde a la media entre las dos caras del fruto (CE y CS) en las fechas previas a la recolección.

(++) Cada valor corresponde a la media de las 120 medidas de color de la cara expuesta o de la cara sombreada, de 120 frutos/tratamiento (8 frutos/árbol x 5 árboles/rep. x 3 repeticiones).

(•) Cada valor corresponde a la media entre las dos caras del fruto (CE y CS) en la fecha de recolección comercial.

(••) Cada valor corresponde a la media de de las 210 medidas de color de la cara expuesta o cara sombreada, de 210 frutos/tratamiento (14 frutos/árbol x 5 árboles/rep. x 3 repeticiones).

(z) Separación de medias en las columnas de un mismo año mediante el test de Duncan ($p \leq 0.05$).

- Los factores año y cara son significativos ($p \leq 0.05$) en la última fecha para todos los parámetros (valores de M).

- Las interacciónes año x fecha y fecha x riego son significativas ($p \leq 0.05$) para todos los parámetros (valores de M) a excepción del Tono para fecha x riego.

mente en ambas caras del fruto, especialmente las dos semanas que precedieron a la recolección. Al igual que ocurrió con los valores de cromaticidad, anteriormente expuestos, en la primera fecha de muestreo, no se dieron diferencias entre tratamientos. En la recolección, el riego al anochecer proporcionó en los dos años contenidos de antocianos significativamente más elevados que el control, tanto en la cara expuesta como en la sombreada, así como en los valores medios de ambas. El riego al mediodía tuvo un comportamiento similar al control, aunque en algunos casos tampoco presentó diferencias con respecto al anochecer; mientras que en 1994 con el riego al amanecer se obtuvieron valores siempre superiores al control, no diferentes del riego al anochecer y si del riego al mediodía (cuadro 3).

En la fecha previa a la recolección (25/agosto/1993), se obtuvieron resultados análogos a los expuestos para la recolección. En 1994 (2/septiembre) y si se considera la cara expuesta todos los riegos incrementaron los contenidos de antocianos con respecto al control, no existiendo diferencias entre tratamientos si se considera la cara sombreada, mientras que para la media de las caras no hubo diferencias entre riegos. En la segunda fecha de muestreo (19/agosto/94) no se dieron diferencias entre tratamientos, lo que indica que los riegos refrescantes anticiparon la coloración de los frutos (cuadro 3).

Las tres estrategias de riego refrescante incrementaron el contenido de antocianos de los frutos, aunque de forma consistente en los dos años fueron los aplicados al anochecer y al amanecer (en 1994). El contenido de antocianos de las dos caras del fruto se incrementó progresivamente al aproximarse la fecha de recolección comercial, alcanzando su máximo en dicha fecha. Como se ha expuesto anteriormente para los valores de cromaticidad (cuadro 2), se dieron diferencias significativas entre las dos caras del fruto (entre 2 y 4 veces), especialmente en 1994, año de difícil coloración, que se obtuvieron contenidos inferiores a los de 1993.

Los valores obtenidos en la fecha de recolección para la cara sombreada y la

CUADRO 3
INFLUENCIA DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO REFRESCANTE POR ASPERSIÓN EN LOS CONTENIDOS DE ANTOCIANOS[z] (EXPRESADOS EN NMOLES.CM-2) CORRESPONDIENTES A LA MEDIA DE LAS DOS CARAS DEL FRUTO (M), CARA EXPUESTA (CE) Y CARA SOMBREADA (CS), EN DIFERENTES FECHAS PREVIAS A RECOLECCIÓN (Y) Y EN LA FECHA DE RECOLECCIÓN COMERCIAL (F) DE LA VARIEDAD 'TOPRED DELICIOUS', AÑOS 1993 Y 1994.

TABLE 3
MEAN VALUES OF ANTHOCYANIN CONTENT (NMOLES.CM-2) DURING THE PERIOD PRECEDING THE COMMERCIAL HARVEST (Y)AND AT COMMERCIAL HARVEST (F), CORRESPONDING TO THE MEAN OF BOTH FRUIT SIDES (M), BLUSH SIDE (BL) AND BACK SIDE (BA) ON 'TOPRED DELICIOUS' APPLES UNDER SEVERAL COOLING IRRIGATION TREATMENTS IN 1993 AND 1994

	–			12/agosto[Ψ]			25/agosto[Ψ]			11/septiembre[Φ]		
1993	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
Noche	–	–	–	4.6+ a	6.9++ a	2.4 ++ a	7.1+a	9.5++a	4.8++ a	*21.9 •a*	*26 ••a*	*17.7 ••a*
Mediodía	–	–	–	6.3 a	7.9 a	2.9 a	5.5 b	6.9 b	4.0 a	*19.1 b*	*23.6 b*	*14.7 ab*
Testigo	–	–	–	4.7 a	7.4 a	2.0 a	5.6 b	7.7 b	3.5 a	*17.7 b*	*22.3 b*	*13.2 b*
1994	6/agosto[Ψ]			19/agosto[Ψ]			2/septiembre[Ψ]			8/septiembre[Φ]		
Noche	2.4 a	4.4 a	0.6 a	4.0 a	7.2 a	0.8 a	8.1 + a	113.6++a	2.6++ a	*14.4 a*	*23.2 a*	*5.6 a*
Mediodía	2.3 a	3.9 a	0.7 a	4.3 a	8.1 a	0.6 a	5.3 ab	8.9 bc	1.8 a	*11.0 b*	*18.0 b*	*4.0 ab*
Amanecer	2.7 a	4.9 a	0.4 a	3.5 a	6.6 a	0.5 a	7.1 a	11.7 ab	2.3 a	*15.4 a*	*24.8 a*	*6.1 a*
Testigo	2.5 a	4.5 a	0.6 a	3.4 a	6.3 a	0.5 a	3.9 b	6.8 c	1.1 a	*7.4 b*	*12.8 c*	*2.2 b*

(+) Cada valor corresponde a la media entre las dos caras del fruto (CE y CS) en las fechas previas a la recolección.

(++) Cada valor corresponde a la media de las 120 medidas de color de la cara expuesta o de la cara sombreada, de 120 frutos/tratamiento (8 frutos/árbol x 5 árboles/rep. x 3 repeticiones).

(•) Cada valor corresponde a la media entre las dos caras del fruto (CE y CS) en la fecha de recolección comercial.

(••) Cada valor corresponde a la media de de las 210 medidas de color de la cara expuesta o cara sombreada, de 210 frutos/tratamiento (14 frutos/árbol x 5 árboles/rep. x 3 repeticiones).

(z) Separación de medias en las columnas de un mismo año mediante el test de Duncan ($p \leq 0.05$).

- Los factores año y cara son significativos ($p \leq 0.05$) en la última fecha.
- Las interacciones año x fecha y fecha x riego son significativas ($p \leq 0.05$).

media de caras en 1993 fueron entre dos y tres veces superiores a los de 1994, lo que se tradujo en una mejor coloración, siendo consecuentemente el factor cara altamente significativo ($p \leq 0,01$) en el ANOVA. Similares resultados se han obtenido con el parámetro colorimétrico a*/b*. Por lo tanto, es evidente pensar que se dan importantes diferencias en el potencial para la síntesis de antocianos dependiendo del año (RECASENS *et al.*, 1988), a pesar de que el período de acumulación es cualitativamente similar para los diferentes años (CHALMERS *et al.*, 1973). En 1993 las menores tempera-

turas registradas (figura 1) en el período previo a la recolección redujeron las diferencias entre tratamientos y entre caras con respecto a 1994 en que se dieron condiciones climáticas poco favorables a la coloración de los frutos, habituales en la zona. En 1994, la síntesis de antocianos se vio más favorecida en la cara expuesta a la iluminación, lo que aumentó las diferencias entre caras en comparación con 1993 (cuadro 3), año con condiciones más propicias al desarrollo del color en que se obtuvieron mayores contenidos de antocianos en la cara sombreada, reduciéndose de forma considerable las diferencias entre caras (cuadro 1). SAURE (1990) sugirió que las bajas temperaturas incrementan la síntesis de antocianos en las zonas del fruto más expuestas a la iluminación y también en las partes poco expuestas. A pesar de ello en un gran número de variedades la síntesis de antocianos y la coloración depende de la exposición a la luz y es fotodependiente (FARAGHER y CHALMER, 1977; MANCINELLI, 1985). Sin embargo, CURRY (1997) comprobó que en nuevas variedades de elevada coloración tales como 'Scarlet Spur' la cantidad de antocianos acumulados era tres veces superior a 'Oregon Spur', y que su síntesis continuaba incluso a elevadas temperaturas y en zonas sombreadas. Ello puede explicar por qué inician el desarrollo del color en ambas caras del fruto y precozmente, incluso en la época más calurosa (mes de julio) del período de crecimiento del fruto.

CHALMERS *et al.* (1973) pusieron de manifiesto que el potencial de acumulación de antocianos, es decir la transición de estadios inmaduros a maduros se da alrededor de las 2 ó 3 semanas previas a la recolección en la mayoría de variedades por lo qué la modificación de las temperaturas en estadios precoces del desarrollo del fruto mediante el riego refrescante no tendría un efecto adicional en la mejora del color. Ello se ha puesto también de relieve en el presente trabajo, dado que el ANOVA realizado muestra que la interacción fecha x riego fue significativa ($p \leq 0,01$) para todos los parámetros analizados, excepto el Tono, lo que evidencia que al aproximarse la recolección se dio una coloración diferencial entre tratamientos por el efecto del riego refrescante y que el incremento de color tuvo lugar en los días que precedieron a la recolección (SINGHA *et al.*, 1994). De hecho fue solamente en las últimas fechas de muestreo cuando se dieron diferencias entre tratamientos.

Los resultados obtenidos muestran que el riego refrescante mejoró la coloración de los frutos significativamente y son coincidentes con los expuestos por varios investigadores con variedades 'Red Delicious', aplicando riego refrescante por aspersión ya sea de forma continua o cíclica (a pulsos). Ya en 1972, se observó que los frutos procedentes de árboles a los cuales se aplicó riego refrescante por aspersión cuando la temperatura del aire sobrepasaba los 30,5 °C, tenían un mayor porcentaje de superficie coloreada que los frutos no refrescados (UNRATH, 1972b). EVANS (1993a), en zonas cálidas encontró que el riego refrescante aplicado de forma continua a lo largo de 30 días o más por período vegetativo, en el momento de la puesta de sol o a la salida del sol mejoró el color de manzanas 'Delicious'. WILLIAMS (1993) constató un incremento de la categoría superior en las variedades 'Red Chief' y 'Ryanared' ('Delicious') a las que se aplicó riego refrescante por microaspersión, iniciándose la primera semana de agosto y siempre que la temperatura del aire excedía los 29,4°C, deteniéndose al disminuir 2,7°C. LEY (1995) señaló incrementos de la pigmenta-

ción roja cuando el riego por aspersión se aplicó diariamente una vez se alcanzaba la temperatura crítica señalada y hasta el anochecer de forma continua. De forma similar, RECASENS *et al.* (1988) señalaron una mejora de la pigmentación roja de manzanas 'Starking Delicious' cuando el riego por aspersión se aplicó de forma cíclica con una pluviometría de 3 mm/h, cuando la temperatura del aire excedía los 32°C, observándose diferencias significativas en los contenidos finales de antocianos debidas al factor año. Sin embargo ARCHOMCHUK y MEHERIUK (1996) aplicando riego refrescante por aspersión no obtuvieron un incremento del color con la variedad 'Jonagold', debido a que las temperaturas en British Columbia eran frescas y favorables para la coloración. KOTZÉ *et al.*, (1996) aplicando microirrigación de forma cíclica obtuvieron un descenso de la temperatura del aire de entre 3 y 9°C, dependiendo del año, pero el desarrollo del color de manzanas 'Starking Delicious' se vio desfavorecido debido probablemente a que dicho riego incrementó el crecimiento de los árboles y por tanto las zonas de sombreo.

Considerando un mismo tratamiento la evolución diferencial de los valores de cromaticidad y de los contenidos de antocianos, a lo largo de las diferentes fechas de muestreo de los dos años, puso en evidencia la influencia del factor año en el color y consecuentemente la interacción año x fecha de muestreo y fueron significativas ($p \leq 0,01$). En la fecha de recolección comercial el ANOVA realizado muestra diferencias significativas entre años ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros colorimétricos y para los contenidos de antocianos (cuadros 2 y 3), correspondiendo siempre los valores que indican una mayor coloración a 1993. Al igual que sugirió UNRATH (1972a), puede concluirse que uno de los factores más importantes que influyen en el éxito del riego refrescante son las condiciones climáticas del año en cuestión, especialmente las temperaturas. Las temperaturas mínimas bajas en el período que precedió a la recolección del año 1993 (figura 1), redujeron significativamente el efecto del riego refrescante en el color de los frutos (parámetro L*). Por esta razón, variaciones en la respuesta al riego refrescante de un año a otro pueden ser atribuidas a diferencias ambientales estacionales en ambos: la duración de los períodos de estrés de la planta y los momentos en que estos se producen, frecuentes éstos en zonas cálidas de producción de manzana.

Relación entre los contenidos de antocianos y los valores de cromaticidad

En la fecha de recolección se estudiaron modelos de regresiones simples y múltiples con el objeto de relacionar los valores de cromaticidad con los contenidos de antocianos, ignorando diferencias entre tratamientos y años. Las regresiones lineales múltiples para todos los tratamientos y años proporcionaron un coeficiente de determinación (R^2) de 0,74 (incluyendo b* y a*/b* en el modelo). En todos los modelos la relación a*/b* estuvo presente e indicó su estrecha relación con los valores de cromaticidad, lo cual no ocurrió con el parámetro a*. Las regresiones simples se calcularon para relacionar los contenidos de antocianos con L*, a*, a*/b* y Tono. Los mejores valores de R^2 se obtuvieron con L* (0,80), a*/b* (0,79) y Tono (0,78) (figura 3) e intermedios con los parámetros a* (0,70) y b* (0,75). En todos los casos las regresiones fueron significativas ($p \leq 0,05$). La relación a*/b* está directamente relacionada

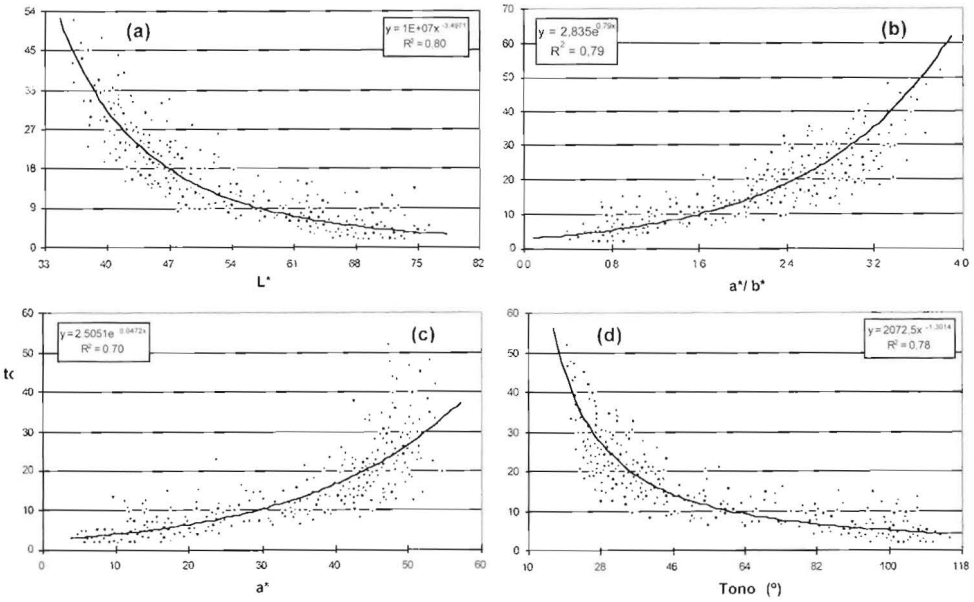


Figura 3. Regresiones simples entre los contenidos de antocianos y los parámetros colorimétricos L* (a) y a*/b* (b), a* (c) y Tono (d) en frutos de 'Topred Delicious' en la recolección y considerando de forma conjunto los años 1993 y 1994. Significación de las regresiones $p \leq 0,05$.

Figure 3. Relationship between anthocyanin content and L (a), a*/b* (b), a* (c), and Hue (d) for the values measured at harvest on fruits of 'Topred Delicious' corresponding to 1993 and 1994. Significance of regressions $p \leq 0,05$*

con los contenidos de antocianos, mientras que el Tono y L* lo están inversamente.

Los resultados obtenidos son similares a los señalados por otros autores relacionando los valores de cromaticidad con los contenidos de antocianos (SINGHA *et al.*, 1991a; GRAELL *et al.*, 1993). 'Topred Delicious' es una variedad de color semiestriado y como señaló KNEE (1980) se obtienen mejores valores de R^2 con variedades de color uniforme como 'Early Red One'. La regresión simple con los valores de L* proporcionó un $R^2 = 0,80$ y como expusieron SINGHA *et al.* (1991b) los cambios de color cuando el fruto es de un color rojo L*< 50 (cuadro 1) están estrechamente relacionados con la variación de los contenidos de antocianos, mientras que con frutos menos rojos los cambios de color se deberían principalmente a otros pigmentos. Tanto los modelos de regresión simples como múltiples muestran que los valores de b* y consecuentemente la relación a*/b*, están mejor relacionados con los antocianos extractables y con la percepción visual del color que los valores de a* (medida del color rojo), el cual, y contrariamente a lo que cabría esperar, lo está en menor medida. Las relaciones obtenidas responden al objetivo propuesto y permiten establecer una buena predicción de los contenidos de

antocianos en base a los valores de cromaticidad, los cuales pueden determinarse de forma objetiva, rápida y no destructiva, expresándose en unidades internacionalmente aceptadas, en contraposición con la extración de antocianos, destructiva, laboriosa y costosa en medios y tiempo.

Parámetros de calidad

Los parámetros de calidad obtenidos muestran que el mayor peso de los frutos se obtuvo en 1994 con los diferentes tratamientos de riego refrescante, no existiendo diferencias en 1993. Las diferentes estrategias de riego refrescante incrementaron la firmeza de los frutos con respecto al testigo (cuadro 4). El contenido de sólidos solubles se vio consistentemente mejorado por el riego refrescante, correspondiendo los mayores valores al riego al mediodía y al amanecer; mientras que la mayor acidez titulable correspondió al riego al mediodía.

Puede por tanto concluirse que los parámetros de calidad se vieron positivamente

CUADRO 4
INFLUENCIA DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO REFRESCANTE POR ASPERSIÓN EN LOS PARÁMETROS Z DE CALIDAD, EN EL PESO Y CALIBRE DE LOS FRUTOS Y EN LA PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD 'TOPRED DELICIOUS'. AÑOS 1993 Y 1994

TABLE 4
EFFECTS OF SEVERAL EVAPORATIVE COOLING TREATMENTS ON FRUIT QUALITY PARAMETERS Z OF 'TOPRED DELICIOUS' APPLES. MEAN VALUES CORRESPONDING TO 1993 AND 1994

Parámetro	Riego	1993	1994
	Noche	7,5 a	7,1 a
Firmeza [1]	Mediodía	7,7 a	7,2 a
(kg)	Amanecer	–	7,1 a
	Testigo	7,0 b	6,6 b
	Noche	11,8 a	10,9 ab
Sólidos solubles [2]	Mediodía	11,9 a	11,7 a
(°Brix)	Amanecer	–	11,6 a
	Testigo	11,4 b	10,6 b
	Noche	3,1 ab	2,7 ab
Acidez [2]	Mediodía	3,3 a	2,8 a
(g/l)	Amanecer	–	2,5 b
	Testigo	2,8 b	2,6 b
	Noche	257,1 a	182,7 a
Peso [3]	Mediodía	253,2 a	176,3 a
(g)	Amanecer	–	188,8 a
	Testigo	247,7 a	169,3 b

(1) Cada valor corresponde a la media de 120 determinaciones (20 frutos / rep. x 2 det./ fruto x 3 rep.).
(2) Cada valor corresponde a la media de 3 determinaciones (1 det./ 20 frutos-rep. x 3 rep.).
(3) Cada valor corresponde a la media de 60 determinaciones (20 frutos / rep. x 3 rep.)
(z) Separación de medias en las columnas mediante el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

afectados por el riego refrescante, especialmente en 1994, año en que el color de los frutos se mejoró de forma significativa para todos los parámetros determinados. Cuando el riego se aplicó al anochecer o al amanecer, los parámetros de calidad no difirieron consistentemente del control, dado que las condiciones climáticas (temperatura y humedad) en el período en que el riego se aplicaba diferían menos de las existentes en el control que cuando se aplicaba al mediodía.

Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores en zonas cálidas con variedades 'Red Delicious', en las cuales se aplicó riego refrescante ya fuera de forma cíclica o continua durante las horas de máximas temperaturas. Así UNRATH (1972b) encontró que el peso del fruto y su firmeza se incrementaban con el riego refrescante, pero solo en años cálidos con temperaturas elevadas; los contenidos de sólidos solubles fueron siempre mayores que en los frutos de control y su fecha de maduración no se retrasó. LOWELL (1981) señaló mayores contenidos de sólidos solubles, de firmeza y de acidez con riego refrescante aplicado a pulsos y diariamente cuando se alcanzaban las temperaturas máximas. Los resultados de WILLIAMS (1993) indican que la fecha de maduración de los frutos se retrasó consistentemente, entre 7 y 10 días, como lo indicaban los contenidos de sólidos solubles, la acidez y el almidón, además la firmeza del fruto y su peso fueron superiores en los frutos refrescados, pero al igual que señalan PARCHOMCHUK y MEHERIUK (1996) la acidez fue inferior. EVANS (1993) en la variedad 'Delicious' incrementó el tamaño del fruto utilizando riego refrescante de forma continua justo después de la puesta de sol y al amanecer. Con 'Starking Delicious', aplicando el riego refrescante diariamente y de forma continua al alcanzarse las temperaturas máximas, se incrementó el peso de los frutos, la acidez y el contenido de sólidos solubles, sin efecto en la fecha de maduración (RECASENS, 1982).

El efecto del riego refrescante en la mejora de los parámetros de calidad puede ser debido al enfriamiento del fruto y a la reducción del estrés de la planta. Sin embargo el aporte suplementario de agua por cualquiera de las dos estrategias de riego refrescante evaluadas (7 mm diarios) puede provocar una variación del estado hídrico del suelo y consecuentemente de la disponibilidad de agua por la planta y de su estado hídrico, con respecto al testigo regado solamente por riego a manta, todo ello y a pesar de que con el riego refrescante se producen importantes pérdidas por evaporación, especialmente cuando la aplicación se realiza al mediodía, que son las que provocan el enfriamiento de la planta. Este hecho es más importante cuando se utiliza el sistema de riego a manta, dado que los contenidos hídricos de agua en el suelo están sujetos a mayores variaciones que en riego localizado, dichas variaciones pueden ser amortiguadas por el aporte de agua del riego refrescante. Cabe por tanto esperar que este efecto indirecto del aporte de agua por el riego refrescante pueda ocasionar variaciones en la regulación hídrica de la planta que afecten indirectamente a los parámetros de calidad de los frutos además del efecto directo de dicho riego en el enfriamiento de la misma.

Conclusiones

En zonas cálidas, donde en la época estival tienen lugar diariamente períodos

importantes de estrés, especialmente cuando las temperaturas son elevadas y la humedad relativa baja, el riego refrescante, permite reducir el estrés hídrico de la planta al disminuir la temperatura de los tejidos e incrementar la actividad fotosintética, cuando es aplicado al mediodía o reducir la actividad respiratoria cuando se aplica al anochecer, mejorando el color y la calidad de los frutos.

En base a los resultados obtenidos puede concluirse que para la mejora del color en la variedad 'Topred Delicious' el riego refrescante debería iniciarse unos 25 días antes de la fecha prevista de recolección. En 1993 los mejores resultados se han obtenido con el riego aplicado al anochecer (puesta de sol) y al amanecer (salida del sol), por lo que cualquiera de ambas alternativas sería aconsejable.

Aunque el sistema de accionamiento del riego refrescante puede automatizarse para que se inicie y se pare cuando los frutos alcancen una temperatura concreta (por ejemplo 30°C, es la utilizada habitualmente en Estados Unidos para prevenir golpes de sol y mejorar el color), dicho automatismo supone un encarecimiento de la instalación por lo que habitualmente no se dispone en las plantaciones con sistema de protección antihelada por aspersión. Fue por ello que el accionamiento del sistema en la presente experiencia se realizó siempre a una misma hora y con una duración diaria constante de dos horas, que es el tiempo que se considera necesario para enfriar el fruto en todo su volumen.

Finalmente añadir que la técnica del riego refrescante admite múltiples variantes y puede mejorarse aplicando la misma dosis diaria de agua pero con riego a pulsos –intervalos cortos de riego y paro del riego sucesivamente–, lo que permitiría alargar el período en que la planta se encuentra a temperaturas más bajas e incrementar la superficie con riego refrescante en el caso de fincas de mayor superficie y con caudal de agua limitado.

Bibliografía

ARAKAWA O., 1988. Characteristics of color development in some apple cultivars: changes in anthocianin synthesis during maturation as affected by bagging and light quality. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.*, 57. 373-375.

ARAKAWA O., 1991. Effect of temperature on anthocyanin accumulation in apple fruit as affected by cultivar, stage of fruit ripening and bagging. *J. Hort. Sci.*, 56 (6), 763-768.

BLANKENSHIP S.M., UNRATH, C.R., 1988. PAL and ethylene content during maturation of 'Red Delicious' and 'Golden Delicious' apples. *Phytochem.*, 27, 1001-1003.

CAROLUS R.L., 1971. Evaporative cooling techniques for regulating plant water stress. *HortSci.*, 6, 23-25.

CHALMERS D.J., FARANGHER J.D., RAFF J.W., 1973. Changes in anthocyanin synthesis as an index of maturity in red apple varieties. *J. Hort. Sci.*, 48, 387-392.

CHENG G.W.; BRELIN P., 1991. Activity of phenylalanina ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing in developing strawberry fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116(5), 865-869.

CREASY L.L., 1968. The role of low temperature in anthocyanin synthesis in 'McIntosh' apples. Proc. N. Y. State Hortic. Soc. 93:716-724.

CURRY E.A., 1997. Temperatures for optimum anthocyanin accumulation in apple tissue. *J. Hort. Sci.*, 72 (5), 723-729.

EVANS R.G., 1993a. Part one: Designing and operating overtree evaporative cooling systems for apples. Good Fruit Grower, June, 23-27.

EVANS, R.G., 1993b. Part two: Assessing the mechanics of evaporative orchard cooling. *Good Fruit Grower*, July, 29-32.

FARAGHER J.D., CHALMERS D.J., 1977. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin. III Involvement of phenylalanin ammonia-lyase. *Aus. J. Plant Physiol.*, 4, 133-141.

FARAGHER J.D., 1983. Temperature regulation of anthocyanin accumulation in apple skin. *J. Exp. Bot.*, 34, 1291-1298.

FARAGHER J.D., BROHIER R.L., 1984. Anthocyanin accumulation in apple skin during ripening: regulation by ethylene and phenylalanine ammonia-lyase. *Sci. Hort.*, 22, 89-96.

GRAELL J., I. IGLESIAS MARTI R., 1993. Evaluación objetiva del color superficial en manzanas rojas del grupo 'Red Delicious'. En: "La calidad en frutos y hortalizas". Ed. M. Albi, F. Gutierrez, M. Roca. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, 323-328pp.

HUNTER R.S., 1975. The measurement of appearance. Jhon Willey & Sons, Inc. New York.

IGLESIAS I., 1990. Colección de variedades del grupo 'Red Delicious' del campo experimental de frutales de Seana-Bellpuig (Lleida). *Inf. Téc. Econ. Agrária*, 85, 45-56.

IGLESIAS I., GRAELL J., LARRIGAUDIERE, C., RECASENS I., VENDRELL M., 1999. Efecto del sistema de riego en la coloración de los frutos, contenido de antocianos y actividad de la fenilalanina amonioliasa (PAL), en la variedad de manzana 'Starking Delicious'. Investigación Agrária: producción y protección vegetales 14(1-2) (En prensa).

KOTZÉ W.A.G., CARREIRA J.A., BEUKES O., REDELINGHUYS A.U., 1996. Effect of evaporative cooling on the growth, yield and fruit quality of apples. *Deciduous Fruit Grower*, 3, 20-24.

KNEE J., 1972. Anthocyanin, carotenoid and chlorophyll changes in the peel of 'Cox's Orange Pippin' apples during ripening on and off the tree. *J. Exp. Bot.*, 23, 184-185.

LANCASTER J.E., 1992. Regulation of skin color in apples. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(6), 487-502.

LEY T., 1995. Cycled system is best for evaporative cooling. *Good Fruit Grower*, March, 27-28.

LOWELL G., 1981. Over tree irrigation for cooling for increased color. Proceedings of fifth annual warehouses seminar and trade show, 55, 4-6.

MANCINELLI A.L., 1985. Light-dependent anthocyanin synthesis: a model system for the study of plant morphogenesis. *Bot. Rev.*, 51, 107-157.

MAYLES K., 1989. Optimizing red color development. Proceedings Washington. State Horticultural Association, Wenatchee, Washington, 85 th,186-187.

PARCHOMCHUK P., MEHERIUK M., 1996. Orchard cooling with pulsed irrigation to prevent solar injury and improve fruit quality of 'Jonagold' apples. *HortSci.*, 31(5), 802-804.

REAY P.F., FLETCHER R.H., THOMAS V.J., 1998. Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of 'Gala' apples during maturation and influence of foliar applications of nitrogen and magnesium. *J. Sc. Food Agric.*, Vol. 76 (1), 63-71.

RECASENS D.I., BARRAGÁN J., 1981. Influencia del riego refrescante sobre la producción de antocianos en la manzana 'Starking Delicious', pp. 110-111. En: "Simposios y resumenes de comunicaciones de la cuarta reunión de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal". Ed. Universidad de Salamanca.

RECASENS D.I., 1982. Estudio de diversos parámetros fisiológicos durante el crecimiento del fruto. Aplicación a la variedad 'Starking Delicious'. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, Bellatera. (abstract).

RECASENS, D.I., RECASENS J., BARRAGÁN J., 1988. Sprinkler irrigation to obtain a refreshing microclimate. Effect on fruit growth rates and quality of 'Jonee' and 'Golden Smoothee' apples. *Acta Hort.*, 228, 197-204.

SAS Institute Inc., 1990. SAS/STAT, User's Guide, Version 2, Fourth Edition, Volume 1, Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAURE M.C., 1990. External control of anthocyanin formation in apple. *Sci. Hortic.*, 42, 181-218.

SINGHA S., TOWNSEND E.C., BAUGHER T.A., 1991a. Relationship between visual rating and chromaticity values in 'Delicious' apple strains. Fruit Var. J., 45(1), 33-36.

SINGHA S., BAUGHER T.A., TOWNSEND E.C., D'SOUZA M.C., 1991b. Anthocyanin distribution in 'Delicious' apples and the relationship between

anthocyanin concentration and chromaticity values. J. Am. Soc. Hort. Sci., 116(3), 497-499.

SINGHA S., BAUGHER T.A., TOWNSEND C., 1994. In situ differences in fruit color development of six 'Delicious' apple strains. Fruit Var. J., 48, 103-108.

UNRATH C.R., 1972a. The evaporative cooling effects of overtree sprinkler irrigation on 'Red Delicious' apples. J. Am. Soc. Hort. Sci., 97, 55-58.

UNRATH C.R., 1972b. The quality of 'Red Delicious' apples as affected by overtree sprinkler irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci., 97(1), 58-61.

WILLIAMS K.M., 1989. Factors affecting color development. Proceedings of fifth annual warehouse seminar and trade show. Washington State Horticultural Association, 51, 2-5.

WILLIAMS, K.M; MAYLES K., 1989. Use of evaporative cooling for enhancing red color in apple. Proceedings Washington. State Horticultural Association, Wenatchee, Washington, 85th,190-92.

WILLIAMS K.M., 1993. Use of evaporative cooling for enhancing apple fruit quality. Good Fruit Grower, August: 23-7.

(Aceptado para publicación el 1 de septiembre de 1999)