

excepción de 1994. El contenido de sólidos solubles, fué diferente según los años, obteniéndose valores similares entre el testigo y el mediodía los años 1992 y 1993; mientras que en 1994, hubo diferencias entre el riego al anochecer y el testigo. Mayores valores de acidez se asocian a una mayor calidad gustativa, aunque en este parámetro no hubo un efecto consistente del factor riego, y en 1994 no hubo diferencias entre tratamientos. Para la relación sólidos solubles/acidez, no hubo diferencias entre el testigo y el riego al anochecer en 1992 y 1993, y sí en 1994.

La variedad '*Oregón Spur*', presentó diferencias en el calibre entre tratamientos en 1992 y 1993, pero no en 1994; el calibre del riego al mediodía fué superior al testigo, en 1992 y en 1993. El riego al mediodía, mejoró la firmeza con respecto al testigo y al riego al anochecer en 1993. Los contenidos de sólidos solubles y la acidez, no se vieron modificados de una forma consistente por el riego refrescante, mientras que la relación entre dichos parámetros, fué superior en 1992 y en 1993. Para las dos variedades, la interacción *año x riego* fué significativa para todos los parámetros, a excepción del calibre y del peso de los frutos, lo que indica que la respuesta al riego de los mismos, se vió afectada de forma distinta por el factor año.

Los calibres obtenidos, pueden considerarse adecuados para variedades del grupo '*Red Delicious*' en condiciones normales de cultivo, dado que en ambos casos superan los 75 mm. Los valores de firmeza, se encuentran mayoritariamente en el intervalo 7-7,5 considerado como óptimo (Urbina, 1990), correspondiendo los menores valores a 1994, que fué el año más calido; similares resultados se han obtenido con las variedades '*Starking Delicious*' y '*Topred Delicious*' en el presente trabajo. El contenido de sólidos solubles fué, para la mayoría de tratamientos, superior a 11° Brix (Urbina, 1990), encontrándose dentro del rango óptimo de 12-14° Brix (Herrero et al., 1992). La acidez, no alcanzó los 3g/l, considerada como adecuada para una buena calidad gustativa (Duran, 1983; Delhom, 1986), lo que puede deberse a que, como característica varietal, tanto '*Early Red One*' como '*Oregón Spur*', presentan una acidez inferior a otras variedades como '*Topred Delicious*' o '*Starking Delicious*', consideradas éstas últimas de mayor calidad gustativa. Este hecho, se ha puesto de manifiesto en el Capítulo II, donde se ha realizado un estudio comparativo de 8 variedades del grupo '*Red Delicious*'.

El factor año influyó, además de en la coloración de los frutos, en el calibre, firmeza y contenido de sólidos solubles (datos no expuestos). En la variedad '*Early Red One*', el menor calibre correspondió para todos los tratamientos a 1993, que fué el año con mayores producciones, no dándose diferencias para '*Oregón Spur*'. Con respecto a la firmeza, se dieron diferencias entre años para las dos variedades, correspondiendo los mayores valores a 1992 y los menores a 1994, que fué el año de peor coloración, debido probablemente a que las temperaturas fueron superiores. El contenido de sólidos solubles, también presentó diferencias entre años, correspondiendo los mayores valores a 1994 y los menores a 1992; mientras que para el resto de parámetros no hubo diferencias significativas entre años. Los resultados expuestos indican diferencias, que pueden deberse además de al año, a otros factores como: variedad, edad de los árboles, producción, zona, sistema de riego y probablemente al estado fisiológico del fruto en el momento de la recolección (Crassweller et al., 1989; Baugher et al., 1990a; Williams, 1993).

Teniendo en cuenta, para el período 1992-94, el conjunto de parámetros de calidad del fruto, puede concluirse que la mayoría de éstos se vieron mejorados por el efecto del riego refrescante, siendo la respuesta similar para las dos variedades. De las dos estrategias de riego, fué el aplicado al mediodía el que proporcionó, en general, valores superiores para el peso del fruto, firmeza, sólidos solubles y acidez; mientras que el aplicado al anochecer, no diferió del testigo en el peso del fruto y la acidez.

Los resultados expuestos, son coincidentes con los obtenidos en trabajos previos con variedades de manzana del grupo '*Red Delicious*', donde se aplicaba diariamente el riego refrescante, de forma continua o cíclica, durante las horas de máximo calor. El riego reducía el estrés hídrico y los paros en el crecimiento del fruto cuando se dieron temperaturas elevadas, consecuentemente, tanto las producciones como la calidad de los frutos se incrementaba (Barbee, 1971; Recasens, 1982; Recasens et al., 1984, 1988; Williams, 1993). En la variedad de pera '*Bartlett*', el riego refrescante por aspersion redujo la firmeza del fruto, anticipándose la fecha de recolección en una semana, y incrementó su calibre (Lombard et al., 1966).

Sin embargo, en trabajos realizados por Unrath (1972a,b) con la variedad '*Red Delicious*', el peso del fruto y la firmeza, no se vieron influenciados de forma consistente por el efecto del riego refrescante, presentando los frutos refrescados un mayor contenido de sólidos solubles. Williams (1993) y Lowell (1981), obtuvieron un mayor contenido de sólidos solubles, y mayor acidez, en los frutos sometidos a riego refrescante, aplicado de forma cíclica al mediodía, cuando las temperaturas eran máximas; retrasándose significativamente la madurez en los frutos refrescados (Williams, 1993). En experiencias con la variedad '*Starking Delicious*', el riego refrescante aplicado al alcanzarse las temperaturas diarias máximas, incrementaron el peso del fruto, el contenido en azúcares y la acidez, no afectando significativamente a la madurez (Recasens, 1982; Recasens et al., 1988).

Los resultados expuestos, coinciden con los obtenidos en otras experiencias sobre riego refrescante realizadas en climas calurosos, donde la planta está sometida a períodos importantes de estrés hídrico. En estas condiciones, el riego aplicado al mediodía, tiene un efecto en la mejora de los principales parámetros de calidad, al provocar un refrescamiento del ambiente, y proporcionar condiciones ambientales más favorables al desarrollo del fruto.

En el riego aplicado al anochecer, los resultados no difieren en general del testigo, dado que las condiciones ambientales de la plantación, en el momento de aplicarse el riego, son muy diferentes a las que se dan al mediodía.

1.10.- Conclusiones

Los resultados obtenidos en las experiencias de riego refrescante por aspersion, con las variedades '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*' durante los años 1992, 1993 y 1994, permiten extraer las siguientes conclusiones:

La aplicación del riego refrescante produjo modificaciones de la temperatura y de la humedad relativa ambiental.

Para las dos variedades, la aplicación del riego refrescante, tanto al mediodía como al anochecer, modificó los valores de los parámetros colorimétricos de los frutos; la mayor coloración, tanto en la recolección como en la fecha previa, se obtuvo con el riego aplicado al anochecer.

En el momento de la recolección, el mayor contenido de antocianos correspondió también al riego aplicado al anochecer, con el que se obtuvo además una mayor precocidad en la síntesis de antocianos.

La modificación de los parámetros colorimétricos y de los contenidos de antocianos por el efecto del riego refrescante fué más importante en 1994, año en el que se dieron condiciones climáticas más desfavorables al desarrollo del color que en 1992 y en 1993.

El factor año influyó significativamente en la coloración, correspondiendo el mayor color al año 1993, en el que se dieron las temperaturas más bajas. En dichas condiciones, la aplicación del riego refrescante no modificó el color en la variedad '*Early Red One*', aunque

sí lo incrementó en la variedad '*Oregón Spur*'.

La acumulación de antocianos y la evolución de los valores de cromaticidad fueron más importantes durante los 20 días previos a la recolección, especialmente en el caso de los frutos tratados con riego refrescante; en dicho período se produjo una evolución diferencial entre los diferentes tratamientos.

La distribución del color entre las dos caras del fruto, fué más uniforme en la variedad '*Early Red One*' que en '*Oregón Spur*'; las diferencias de color entre caras fueron más importantes en 1994.

La respuesta al riego refrescante fué más importante en variedades de menor coloración como '*Oregón Spur*', con respecto a '*Early Red One*', la cual muestra una buena aptitud a la adquisición del color.

Las dos estrategias de riego refrescante promovieron la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL), con respecto al testigo. La máxima actividad de la PAL se anticipó con respecto a los contenidos máximos de antocianos, mostrando un desfase de 17 días entre ambos.

En la recolección, se puede realizar una buena predicción de los contenidos de antocianos en base a los valores de cromaticidad obtenidos con el colorímetro, siendo los parámetros colorimétricos a^* , b^* y Tono, los que proporcionaron el mejor ajuste para las dos variedades.

Los parámetros de calidad del fruto se han visto, en general, mejorados por el riego refrescante, en especial la firmeza y el contenido de sólidos solubles, correspondiendo los mejores valores al riego aplicado al mediodía.

2.- VARIEDAD '*TOPRED DELICIOUS*': AÑOS 1993 Y 1994

'*Topred Delicious*' es una variedad ampliamente cultivada en la zona frutícola de Lleida, dado que se introdujo como alternativa de mejora a la variedad '*Starking Delicious*', en el proceso de renovación de las plantaciones. A pesar de aportar una mejor coloración, ésta es insuficiente muchos años, por lo que es necesaria la recolección en varias pasadas, con el objeto de que condiciones ambientales más favorables (al retrasar la recolección), permitan un color aceptable de los frutos. Es por ello, que en plantaciones establecidas, se ha buscado diferentes alternativas para su mejora, siendo la aplicación del riego refrescante por aspersión, una de las de mayor interés.

Las experiencias de riego refrescante, se realizaron durante los 1993 y 1994. Las fechas de inicio, plena y final de floración de la variedad '*Topred Delicious*', fueron las siguientes:

1993: 6 de abril, 11 de abril y 20 de abril.

1994: 22 de marzo, 29 de marzo y 5 de abril.

Con las experiencias planteadas durante los años 1993 y 1994, se ha pretendido conocer la respuesta al riego refrescante por aspersión, en lo referido a una posible anticipación del color, y a un incremento del mismo. El riego refrescante, solamente se aplicó con el objetivo de refrescar el ambiente, y no como aporte hídrico, dado que la plantación se regaba periódicamente con el sistema de riego a manta.

Se ha comparado el efecto del riego refrescante por aspersión, aplicado entre 25 y 30 días antes de la recolección de los años 1993 y 1994, durante dos horas diarias, y en dos momentos del día: mediodía (15h a 17 h) y al anochece (21h a 23h), en la modificación de las condiciones ambientales y consecuentemente en la coloración (parametros colorimétricos

medidos con un colorímetro y el contenido de antocianos), y en los parámetros de calidad de los frutos. En 1994, se introdujo una estrategia de riego complementaria, que fué la aplicación del riego refrescante al amanecer (6h a 8h); disponiendo siempre de un testigo sin la aplicación del riego por aspersión. Se desconocía el efecto que pudieran tener dichas estrategias de riego en el color de los frutos, aunque se disponía de experiencias con variedades '*Red Delicious*' sometidas a riego refrescante, en diferentes momentos del día, para la mejora del color (Barbee, 1971; Recasens, 1982; Recasens et al., 1981;1988; Lowell, 1981; Evans, 1993a,b; Williams, 1993; Warner, 1995b,d).

Numerosas referencias, evidencian el efecto beneficioso en el color, de la aplicación del riego refrescante, de forma cíclica, en el momento de máximas temperaturas (Williams et al., 1989; Williams, 1993; Warner, 1995b); pero las referencias sobre su aplicación al anochecer y al amanecer, son escasas (Evans, 1993a).

El riego se aplicó de forma ininterrumpida durante 2 horas diarias, aportando unos 8 l/m² y día. En experiencias previas (Lombard et al., 1966; Drake et al., 1981; Recasens et al., 1981), este tipo de riego también se había aplicado de forma continua. En dichos trabajos, se había escogido como duración del período de riego, dos horas, que se considera que es el tiempo necesario para refrescar el fruto en su totalidad (hasta el interior). Este hecho se comprobó en las presentes experiencias, midiendo la temperatura interna del fruto con una sonda de contacto.

2.1.- Análisis de las condiciones climáticas de los años 1993 y 1994

En la *Figura 1-37*, se ha representado la evolución de las temperaturas máximas y mínimas correspondientes al período 9 de agosto-11 de septiembre, de los años 1993 y 1994, período que precedió a la recolección de la variedad '*Topred Delicious*'.

[Figura 1-37](#)

Las temperaturas diferieron de forma importante entre los años 1993 y 1994, especialmente las mínimas diarias en el período 21 de agosto-11 de septiembre. En 1994, tanto las máximas como las mínimas, correspondieron a las típicas de climas calurosos, mientras que en 1993 las mínimas fueron inferiores a las de 1994, con diferencias de hasta 10°C.

Se calculó el salto térmico diario, o diferencias entre temperaturas máximas y mínimas diarias, en el período previo a la recolección de los años 1993 y 1994, por su posible influencia en la síntesis de antocianos (Tan, 1979;1980; Blankenship, 1987; Arakawa, 1988b; Saure, 1990). El resultado se ha expresado como porcentaje en forma de área para los años 1993 y 1994 (*Figura 1-38*); la diferencia acumulada entre temperaturas máximas y mínimas, fué poco importante y superior en 1994, en un 6%, con respecto a 1993, a pesar de que en este año, las temperaturas mínimas fueron inferiores; ello se debió, a que también en 1993, las temperaturas máximas fueron inferiores. Puede deducirse, que fué más importante para el color de los frutos, las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias correspondientes a los dos años, que el salto térmico acumulado entre los mismos; hecho puesto también de manifiesto por otros autores (Uota, 1952; Unrath, 1972a; Clerinx, 1983; Recasens et al., 1983; Faragher et al., 1984; Williams, 1989; Williams et al., 1989;1993).

[Figura 1-38](#)

Si de forma análoga, se analiza la humedad relativa ambiental para el mismo período, se obtienen resultados similares a los expuestos para las temperaturas. La diferencia acumulada, entre la humedad relativa máxima y mínima, fué para 1993 del 48%, y para 1994 del 52%, correspondiendo la mayor diferencia, entre humedades relativas máxima y mínima, al año 1994, que fué cuando se dió el mayor salto térmico.

Variaciones en las temperaturas, han llevado siempre implícitas variaciones en la humedad relativa ambiental. Para ilustrar dicha relación, se realizó el análisis de regresión entre las temperaturas horarias y su correspondiente humedad relativa, en el período 9-31 de agosto de 1994, obteniéndose valores del coeficiente de determinación (R^2) = 0,93. Ello indica la estrecha dependencia entre ambas variables, observándose una relación inversa entre las mismas. Estos resultados, son similares a los expuestos en el Apartado 1, para las variedades '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*' ([Figura 1-23](#)).

2.2.- Efecto del riego refrescante por aspersión en la temperatura y en la humedad relativa ambiental

Durante los años 1993 y 1994, se realizó el seguimiento de las temperaturas y de la humedad relativa ambiental en la plantación, para los diferentes tratamientos de riego y desde el momento en que éstos se iniciaron, mediante la instalación de termohigrógrafos, lo que permitió conocer, las modificaciones ambientales que se producían en el seno de la plantación. En la *Figura 1-39*, se ha representado la evolución de dichas variables a lo largo de los días 15 y 16 de agosto de 1994, en los cuales se aplicaron los riegos refrescantes al mediodía, al anochecer, y al amanecer, con una duración para cada uno de ellos de dos horas.

El riego refrescante al amanecer (6h-8h), permite aprovechar 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. Así mismo, el fruto se encuentra durante más tiempo a temperaturas más bajas, con respecto al riego aplicado al mediodía y al testigo; la disminución de temperatura, no es tan importante como en el riego al mediodía o el riego al anochecer. Ello es debido, a que existe como factor limitante del enfriamiento, la elevada humedad ambiental, que se aproxima a la saturación; por tanto la evaporación de agua se ve limitada por la capacidad de la atmósfera de absorber más vapor, dado que se alcanzan humedades relativas de entre el 94 y el 98%.

[Figura 1-39](#)

El efecto de la aplicación del riego al mediodía (15h-17h), y al anochecer (21h-23h), en la temperatura y en la humedad relativa ambiental, es similar al expuesto en el apartado anterior para las variedades '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*', y ambos provocan disminuciones de las temperaturas (más importantes pero de menor duración, en el riego al mediodía), e incrementos de la humedad de entre el 10 y el 50%.

Tanto en el testigo, como en el riego al anochecer, y al amanecer, las temperaturas máximas diarias se alcanzaron alrededor de las 16 horas, y las mínimas entre las 7 y las 8 de la madrugada. En el riego al mediodía, las máximas se dieron alrededor de las 18 horas, y las mínimas igual que en el resto de riegos. Con respecto a la humedad relativa, la evolución es inversa a la seguida por las temperaturas (*Figura 1-39*), alcanzándose la mínima, cuando se dió la temperatura máxima, y viceversa.

El riego refrescante aplicado, ya sea a mediodía, al anochecer o al amanecer, provoca una modificación importante tanto de las temperaturas (máximas y mínimas), como de la humedad relativa ambiental en el seno de la plantación. La capacidad de refrescamiento, está estrechamente relacionada o condicionada con la humedad relativa, dado que la disminución de la temperatura, implica siempre un incremento de la misma. Desde el punto de vista de la síntesis de antocianos, el efecto del riego radica en la modificación de las temperaturas en los 20 a 25 días previos a la recolección, disminuyendo las temperaturas máximas (riego al mediodía), o las mínimas (riego al anochecer y al amanecer).

Las disminuciones de las temperaturas, durante la noche ó durante el día, incrementa la síntesis de antocianos, dado que se disminuye la pérdida de azúcares a lo largo de la noche a través de la respiración (riego de noche), y se incrementa la actividad fotosintética durante el día, al aliviar el estrés hídrico de la planta (riego al mediodía). En ambos casos, se incrementa la disponibilidad de azúcares necesarios para la síntesis de antocianos (Jones, 1973; Faragher et al., 1984; Mayles, 1989; Williams, 1989; Willet, 1989). Es por ello, que modificaciones provocadas por el riego refrescante, o diferencias estacionales entre años, influyen en la síntesis de antocianos.

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

La capacidad de enfriamiento del riego refrescante, se debe a la evaporación del agua de la superficie del fruto, o de cualquier parte mojada del árbol. Se quiso conocer, la modificación de temperaturas que ocasionaba el riego refrescante en el interior del fruto; para ello en el año 1994, y justamente en el momento en que finalizaba la aplicación de cada una de las diferentes estrategias de riego refrescante, se procedió a medir la temperatura interna del fruto utilizando un termómetro digital con sonda de contacto.

Se determinaron, en cuatro fechas, las temperaturas de los frutos correspondientes a los diferentes tratamientos de riego, siempre en comparación con el testigo y para frutos situados a la sombra; para cada determinación se utilizaron 5 frutos, situados en posiciones similares en el árbol y de calibre similar. Los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 24](#) (tabla 1-23).

El riego refrescante, produjo disminuciones de temperatura en el interior del fruto, de entre 3 y 6 °C, dependiendo del momento del día en que se aplicó. La temperatura a las 15 horas, de los frutos situados al sol, era superior en unos 8°C, a la de los frutos situados en la sombra.

<i>Fecha (1994)</i>	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	20,7 *	22,9	20,3	22,6	28,7	34,2	31,1	32,8	16,8	17,6	17,1	19,0
18 agosto	17,5	19,2	17,0	19,4	26,9	30,9	31,6	33,4	14,3	15,5	14,9	15,9
1 septiem.	20,0	22,6	20,5	21,7	29,4	31,8	27,6	29,8	17,0	18,6	17,0	18,3
8 septiem.	13,0	15,2	13,4	15,6	25,7	27,9	25,6	25,8	18,4	20,1	19,2	20,9
MEDIA	17,8	20,0	17,8	19,8	27,6	31,2	28,9	30,4	16,6	18,0	16,9	18,5

Cuadro 24: Valores medios para cuatro fechas, 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.

(*): cada valor corresponde a la media de 5 determinaciones.

(Tes.): Testigo.

(Medi.): riego al mediodía.

(Aman): riego al amanecer.

Todas las estrategias de riego, disminuyeron la temperatura del fruto y del ambiente. Con respecto al riego al anochecer, tanto la temperatura del fruto como la del ambiente, se disminuyó alrededor de 2°C con respecto al testigo, aunque en algunas fechas la disminución en el fruto fué próxima los 3°C; el riego provocó también una disminución más rápida de las

temperaturas con respecto al testigo. El riego al mediodía, fué el que originó las mayores disminuciones de temperatura, aproximándose a los 4°C, especialmente en el fruto. Ello pudo ser debido a que provocó una evaporación máxima, y por tanto un mayor refrescamiento, en comparación con los otros tipos de riego (anocheceer y amanecer), en los que se alcanzó más rápidamente la humedad relativa máxima, y el refrescamiento se vió limitado. Finalmente el riego al amanecer provocó disminuciones de temperaturas, tanto en el fruto como en el ambiente, próximas a los 2°C.

Si se comparan las diferentes estrategias, se observa, que a pesar de que en los riegos al anocheceer y al amanecer, la disminución de la temperatura del fruto es menor, el fruto 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 anocheceer 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. En las experiencias planteadas, se trataba de conocer como dichas modificaciones afectaban a la síntesis de antocianos y, consecuentemente, a la coloración de los frutos. Los resultados expuestos, son similares a los obtenidos en experiencias de riego refrescante, aplicado de forma cíclica, en el momento de máximas temperaturas (Gilbert et al., 1970; Proebsting et al., 1984; Williams et al., 1989; Williams, 1993; Andrews, 1995), o al amanecer, y al anocheceer (Evans, 1993a).

El efecto de la disminución de las temperaturas máximas alcanzadas al mediodía, en el incremento de la síntesis de antocianos, se debe a que disminuye el estrés de la planta provocado por temperaturas elevadas; por lo que se incrementa la actividad fotosintética, disponiendo de más hidratos de carbono para la síntesis de antocianos. El riego aplicado al anocheceer, disminuye la temperatura nocturna y consecuentemente la respiración de la planta, por lo que se consumen menos azúcares, que se utilizaran posteriormente en la síntesis de antocianos (Jones, 1973; Williams, 1989; Williams et al., 1989; Willet, 1989; Saure, 1990; Williams, 1993).

Paralelamente a la determinación de la temperatura de los frutos, y en las mismas horas, se determinó la temperatura del agua utilizada en el riego refrescante por aspersión ([Cuadro 25](#)) (tabla 1-24); procedente de un embalse situado junto a la parcela. Se dieron variaciones entre días, disminuyendo la temperatura de forma importante a medida que se aproximaba la recolección. En las fechas de máximo calor (principios de agosto), la temperatura del agua era elevada (>28°C), y ello probablemente influyó a que el enfriamiento del fruto fuera menor. Sin embargo, y como han indicado diferentes autores, el refrescamiento del fruto dependería en gran medida de la evaporación del agua depositada en los frutos, o evaporada del mismo ambiente antes de alcanzar el fruto (Williams et al., 1989; Williams, 1989;1993; Evans, 1993a,b; Andrews, 1995; Warner, 1995b,d); más que de su temperatura en el momento de aplicarse. Ello es debido, a la gran cantidad de calor que necesita el agua para su evaporación (584 cal/gr a 1 at y 25°C). La variación de la temperatura del agua de riego a lo largo del día, es poco significativa (entre 1 y 2°C), correspondiendo la mayor temperatura a las 17 horas, y la menor a las 8 horas.

FECHA	Temperatura del agua de riego			
	a las 23 horas	a las 17 horas	a las 8 horas	MEDIA
12- agosto-1994	27,3	28,3	26,8	27,4
18-agosto-1994	23,4	24,1	21,9	23,1
1-septiembre-1994	22,4	26,0	24,9	24,4
8-septiembre-1994	21,4	22,4	24,0	22,6
MEDIA	23,6	25,2	24,4	24,

Cuadro 25: Valores medios para cuatro fechas, de la temperatura del agua de riego a diferentes horas del día. Las temperaturas corresponden a la hora en que finalizaron los riegos refrescantes en el año 1994.

En la experiencia realizada con la variedad '*Starking Delicious*', el agua procedía de un pozo, siendo la temperatura media inferior en 7°C, con respecto a la procedente de embalse.

2.4.- Efecto del riego por aspersión en la evolución de los parámetros colorimétricos del fruto

La variedad '*Topred Delicious*', presenta una coloración con estrías evidentes, especialmente en la cara sombreada del fruto, y en años con condiciones climáticas poco favorables al desarrollo del color; es por ello, que en la experiencia se pretendía conocer, además del efecto del riego refrescante en el color de los frutos, hasta que punto las determinaciones del color con un colorímetro reflejaban la naturaleza del mismo. En diversas experiencias con variedades de coloración estriada, se ha puesto de manifiesto, que la relación entre ambas variables, es inferior con respecto a variedades de coloración uniforme (Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993).

Se exponen los resultados obtenidos de la determinación de los parámetros colorimétricos mediante el colorímetro portátil triestímulo Minolta CR-200, para las diferentes estrategias de riego refrescante, para las diferentes fechas de muestreo, y para las dos caras del fruto. Posteriormente, y a partir de los valores de ambas caras, se han calculado los correspondientes al fruto entero. Dicha información es complementaria, dado que el análisis por caras, permite conocer la distribución del color en el fruto, y por tanto su uniformidad; mientras que el análisis conjunto del fruto, permite tener una cuantificación global de su color, y posibilita una comparación más fácil entre tratamientos.

Las mediciones de color se realizaron en los frutos recolectados, y posteriormente se procedió a la determinación del contenido de antocianos. Los parámetros colorimétricos calculados, para cada fecha y para cada cara del fruto, fueron: L*, a*, b*, a*/b*, Tono, Saturación y DE*. Su interpretación desde el punto de vista de color, y su cálculo, se ha expuesto en el apartado Introducción: "*El color y su medida*".

Se han analizado de forma separada los años 1993 y 1994, y posteriormente ambos de forma global; su evolución en el tiempo fué la siguiente:

* Disminución: L*, b*, Tono, Saturación y DE*.

* Aumento: a* y a*/b*.

Los parámetros L*, a*/b*, Tono y DE*, fueron los que posteriormente en el análisis de regresión proporcionaron los mejores valores de los coeficientes de determinación. Con el parámetro L* o luminosidad, se ha observado siempre una relación inversa con la coloración, en el sentido que cuanto mayor es ésta (valores altos de a*/b* y bajos del Tono), menores son los valores de L*.

Los coeficientes de variación oscilaron entre el 4,9% y el 39%, correspondiendo los

mayores a a* y a*/b*, y los menores a DE* y L*. Cuando superaron el 60%, y/o la varianza no fué homogénea (Material y métodos: "Tratamiento estadístico"), se calcularon las medias, pero no se realizó su separación. Comparando los años, y al igual que ocurrió con otras variedades, los menores coeficientes correspondieron a 1993, que fué el año de mejor coloración; la cara verde presentó valores más elevados que la cara roja. De los diferentes parámetros, los menores valores correspondieron a L* y a DE* y los mayores a a* y a*/b*.

*** Resultados año 1993**

Se determinaron los parámetros colorimétricos, para cada cara del fruto, en las siguientes fechas: 12/agosto; 25/agosto y 10/septiembre (recolección). Los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 26](#) (tabla 1-25), donde figura la separación de medias para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. Los valores correspondientes a la primera fecha de muestreo, no difieren entre los las dos estrategias de riego y el testigo, lo cual es deseable, e indica que al iniciarse la aplicación del riego refrescante, las condiciones de partida eran similares en todos los tratamientos.

1993	12/agosto			25/agosto			10/septiembre (recolección)		
Pará./ Riego	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*									
Noche	60,7 ⁺ a	56,1 ⁺⁺ a	65,3 ⁺⁺ a	56,1 ⁺ b	52,2 ⁺⁺ b	59,9 ⁺⁺ a	45,2 ⁰ a	42,9 ⁰⁰ b	47,6 ⁰⁰ b
Mediodía	60,5 a	55,8 a	65,2 a	57,7 ab	54,7 a	60,8 a	46,2 a	43,6 ab	48,8 ab
Testigo	61,9 a	55,2 a	64,5 a	58,2 a	53,7 a	62,7 a	47,2 a	44,3 a	50,2 a
a*									
Noche	-0,35 a	7,9 a	-8,6 a	7,9 a	14,5 a	1,4 a	24,9 a	28,6 a	21,2 a
Mediodía	-0,40 a	8,9 a	-8,1 a	5,4 b	11,8 b	-0,90 a	23,8 a	27,6 ab	20,0 a
Testigo	1,2 a	10,0 a	-7,5 a	5,3 b	12,3 ab	-1,70 a	21,8 b	26,2 b	17,5 b
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
Testigo	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
Testigo	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

Cuadro 26: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo y en la recolección. Variedad 'Toprea Delicious', bajo dos estrategias de riego refrescante, año 1993. Tratamientos con la misma letra en las columnas, no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

(⁺)Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(⁺⁺)Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(⁰)Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(⁰⁰)Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En el momento de la recolección y considerando la cara roja del fruto, se dieron diferencias significativas en la mayoría de parámetros, que indican una mayor coloración de los frutos para el riego al anochecer y al mediodía. El mayor ratio a^*/b^* correspondió al riego al anochecer, mientras que para L^* , a^* y Tono no existieron diferencias entre riegos y si entre el riego al anochecer y el testigo. La aplicación del riego al anochecer, proporcionó siempre valores diferentes al testigo, lo cual no ocurrió con el riego al mediodía. Considerando la cara verde, se obtuvieron resultados similares, que ponen de manifiesto que el riego al anochecer también favoreció el color en la cara verde, y consecuentemente en la totalidad del fruto.

En la fecha previa a la recolección, considerando tanto la cara roja como la totalidad del fruto, los valores de L^* , a^*/b^* y Tono, indican una coloración superior del riego al anochecer con respecto al testigo, no observándose para la mayoría de parámetros diferencias entre riegos. Para la cara verde, la mayoría de parámetros no mostraron diferencias entre tratamientos; lo que evidencia que los riegos refrescantes, y especialmente el aplicado al anochecer, propiciaron una mayor precocidad en la coloración de los frutos, aunque ésta no fue consistente para todos los parámetros.

El análisis de los valores de los parámetros colorimétricos por caras, indica que la distribución del color del fruto en el momento de la recolección fue bastante homogénea dado que las diferencias entre caras fueron poco importantes. Contrariamente, en la fecha previa a la recolección, las diferencias entre caras fueron muy importantes especialmente para a^* y a^*/b^* . Ello pudo ser debido, a que las temperaturas que se dieron entre ambas fechas fueron bajas, y ocasionaron una mayor coloración de los frutos en el momento de la recolección, que incluso atenuaron los efectos del riego refrescante en el color de los frutos, como lo han puesto en evidencia los trabajos realizados por diversos autores (Hulme, 1970; Proctor, 1974; Tan, 1979; Clerinx, 1983; Faragher et al., 1983; Recasens et al., 1983).

*** Resultados año 1994**

En 1994, se añadió una nueva estrategia de riego, que fue el riego refrescante aplicado al amanecer. El inicio de la aplicación de los riegos refrescantes, correspondió al día 6 de agosto, es decir unos 30 días antes de la recolección, la cual se anticipó con respecto a 1993.

Se realizaron 4 muestreos, intercalando uno adicional antes de la recolección (2 de septiembre), dado que en 1993 se observó un incremento importante del color, en los días previos a la recolección. Los muestreos se realizaron en las fechas: 6/agosto, 19/agosto, 2/septiembre y 9/septiembre (recolección). Los valores obtenidos para L^* , a^*/b^* , Tono y DE^* , se exponen en el Cuadro 27 (tabla 1-26), donde figura la separación de medias para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. Para la primera fecha de muestreo, que coincidió con el inicio de los riegos, no se detectaron diferencias entre tratamientos.

En el momento de la recolección, y considerando la cara roja, se dieron diferencias significativas para todos los parámetros colorimétricos; el ratio a^*/b^* fue superior tanto para el riego al amanecer como al anochecer, mientras que para L^* , DE^* y Tono, el riego al anochecer fue superior al testigo, y similar a los otros riegos; similares resultados se obtuvieron considerando el fruto entero. Para la cara verde, los valores de L^* y del Tono indican diferencias entre tratamientos. De ello se deduce, que los riegos al amanecer y al anochecer, proporcionaron resultados similares, que indicaban una mayor coloración que el testigo y el riego al mediodía, a pesar de que para algunos parámetros (L^* y Tono) no existieron diferencias entre riegos.

1994	6/agosto			19/agosto			2/septiembre			9/septie. (recolección)		
Parám./ Riego	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
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
Testigo	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	-0,15 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
Testigo	-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
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
Testigo	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	39,0a	97,3a
DE*												
Noche	72,8 a	64,6 a	81,0 a	70,2 a	61,9 a	78,4 a	65,8 a	57,7 ab	74,0 a	63,4 ab	54,9 ab	72,6 b
Mediodía	73,7 a	66,0 a	81,4 a	70,9 a	61,1 a	80,8 a	66,4 a	58,0 ab	74,8 a	64,1 ab	54,5 ab	73,8 a
Amanecer	72,9 a	64,3 a	81,5 a	70,3 a	61,6 a	79,0 a	64,0 a	56,1 b	72,0 a	62,1 b	52,8 b	72,0 a
Testigo	73,3 a	65,0 a	81,7 a	70,8 a	60,9 a	80,8 a	66,7 a	58,6 a	74,8 a	65,4 a	56,0 a	74,8 a

Cuadro 27: Valores medios y separación de medias, de los parámetros colorimétricos correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo y en la recolección. Variedad 'Toprea Delicious', bajo tres estrategias de riego refrescante, año 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas, no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

En la fecha previa a la recolección (2 de septiembre), se obtuvieron valores similares a los de la recolección, aunque no coincidentes, dado que para la mayoría de parámetros, los valores del riego al amanecer, fueron diferentes al resto de tratamientos, indicando por tanto una mayor precocidad de la coloración. Para la cara roja, los menores valores de L* y del Tono, correspondieron al riego al amanecer; el ratio a*/b* no presentó diferencias entre riegos, y sí entre el riego al amanecer y el testigo. Para la cara verde, los parámetros fueron similares entre tratamientos. En la segunda fecha (19 de agosto), tanto en el fruto entero como por caras, no se detectaron diferencias.

En las *Figura 1-40*, para ilustrar la diferencia en los parámetros colorimétricos entre las dos caras del fruto, y entre los años 1993 y 1994, se ha representado la evolución de a*/b* correspondientes a la cara roja y a la cara verde. Para la cara roja, se dieron diferencias entre los tratamientos de riego y el testigo, correspondiendo los mayores valores a los riegos al amanecer y al amanecer.

Figura 1-40

Los valores de a*/b*, fueron similares para la cara roja en los años 1993 y 1994; mientras que para la cara verde, las diferencias entre años fueron muy importantes, lo que pone en evidencia la importancia de las temperaturas en la coloración de los frutos. Si se comparan las dos caras del fruto, para 1993, los valores de la cara roja fueron aproximadamente el doble que los obtenidos para la cara verde; mientras que en 1994 fueron entre 15 y 20 veces superiores. Un comportamiento similar se observó con el resto de parámetros colorimétricos. La mejora del color por el efecto del riego, se debió fundamentalmente al incremento de éste en la cara roja, dado que para la cara verde, no existieron diferencias entre riegos para la mayoría de valores de cromaticidad.

El análisis conjunto de los parámetros colorimétricos, en la recolección y en la fecha previa de los años 1993 y 1994, pone de manifiesto que todas las alternativas de riego

aplicadas modifican los valores de colorimetría y por tanto el color de los frutos. El riego al anochecer en 1993, y los riegos al amanecer y al anochecer en 1994, fueron los que proporcionaron una mejor coloración; en 1994, el riego al mediodía proporcionó para algunos parámetros valores similares al resto de estrategias de riego. Para todos los parámetros objeto de estudio, tanto en el fruto entero como por caras, se observa que es a partir de la segunda fecha de muestreo, cuando se produce un incremento (a^* , a^*/b^*) o una disminución (L^* , Tono) importante de los mismos, y una evolución diferencial entre riegos y el testigo; debido probablemente a que el desarrollo del color tiene lugar mayoritariamente antes de la recolección (Chalmers et al., 1973; Arakawa, 1988b; Saure, 1990; Singha et al., 1994).

[Figura 1-41](#)

[Figura 1-42](#)

[Figura 1-43](#)

2.5.- Efecto del riego por aspersion en el contenido de antocianos del fruto

Los principales pigmentos responsables de la coloración roja de las manzanas son los pigmentos antocianos, y más concretamente el cianidín 3-galactósido. Su determinación cuantitativa, constituye uno de los métodos habitualmente utilizado para la determinación objetiva del color en manzanas, dado que mayores contenidos van asociados a una mayor coloración del fruto (Chalmers et al., 1973; Singha et al., 1991a,b; 1994).

Con respecto a 1993, se añadió una fecha de muestreo (2 de septiembre), y una estrategia de riego refrescante: riego al amanecer (6h-8h). Las determinaciones se realizaron, al igual que los parámetros colorimétricos, para las diferentes fechas de muestreo, y para las dos caras del fruto de los diferentes tratamientos ([Cuadro 28](#), ver *tabla 1-27*). Los coeficientes de variación, oscilaron entre el 5,8 y el 43%, siendo mayores para el año 1994, para la cara verde y para las primeras fechas de muestreo.

Año/Riego	12/agosto			25 agosto						10/septie. (recolección)		
	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
1993												
<i>Noche</i>	4,6 ⁺ a	6,9 ⁺⁺ a	2,4 ⁺⁺ a	7,1 ⁺ a	9,5 ⁺⁺ a	4,8 ⁺⁺ a				21,9 ^{0a}	26 ^{00a}	17,7 ^{00a}
<i>Mediodía</i>	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
<i>Testigo</i>	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			19/agosto			2/septiembre			9/septie. (recolección)		
<i>Noche</i>	2,4 a	4,4 a	0,57 a	4,0 a	7,2 a	0,81 a	8,1 ⁺ a	113,6 ⁺⁺ a	2,6 ⁺⁺ a	14,4 a	23,2a	5,6a
<i>Mediodía</i>	2,3 a	3,9 a	0,69 a	4,3 a	8,1 a	0,57 a	5,3 ab	8,9 bc	1,8 a	11,0 b	18,0 b	4,0 ab
<i>Amanecer</i>	2,7 a	4,9 a	0,42 a	3,5 a	6,6 a	0,46 a	7,1 a	11,7 ab	2,3 a	15,4 a	24,8 a	6,1 a
<i>Testigo</i>	2,5 a	4,5 a	0,63 a	3,4 a	6,3 a	0,55 a	3,9 b	6,8 c	1,1 a	7,4 b	12,8 e	2,2 b

Cuadro 28: Valores medios y separación de medias de los contenidos de antocianos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo y en la recolección. Variedad 'Topred Delicious', bajo diferentes estrategias de riego refrescante, años 1993 y 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(⁺⁺) Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(⁰) Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(⁰⁰) Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

Las condiciones climáticas previas a la recolección del año 1994 se caracterizaron por temperaturas elevadas, siendo más caluroso que 1993. Consecuentemente, las concentraciones de antocianos, tanto en la recolección como en las fechas previas, fueron las más bajas. En el momento de iniciarse los riegos (primera fecha), no existían diferencias entre los diferentes tratamientos.

En la recolección del año 1993, los mayores contenidos de antocianos, para la cara roja y para el fruto entero, correspondieron al riego al anochecer; mientras que en 1994, se obtuvieron para los riegos al anochecer y al amanecer. Para la cara verde, no existieron en ninguno de los años diferencias entre riegos, siendo los riegos al amanecer y al anochecer, superiores al testigo. La mejora del color por el efecto del riego, se debió -especialmente en 1994- al incremento de éste en la cara roja. Análogamente ocurrió con los parámetros colorimétricos.

En la fecha previa a la recolección (25 de agosto de 1993), el riego al anochecer incrementó el contenido de antocianos con respecto al de mediodía y al testigo, mientras que para la cara verde, no se dieron diferencias entre tratamientos. Análogamente ocurrió en 1994 (2 de septiembre), en que los mayores contenidos correspondieron al riego al amanecer y al anochecer, no existiendo diferencias entre el de mediodía y testigo. Para la cara verde, no existieron diferencias entre tratamientos en ninguno de los dos años. Fué a partir de la segunda fecha de muestreo, cuando se produjo el mayor incremento de los contenidos de antocianos, y una evolución diferencial entre los diferentes riegos y el testigo. Ello probablemente se debió, a que el desarrollo del color (síntesis de antocianos), tiene lugar en las tres semanas previas a la recolección.

La distribución de antocianos en las dos caras del fruto, fué similar a la expuesta para el parámetro a*/b*. En 1993, los contenidos de la cara roja fueron superiores, en aproximadamente dos veces, con respecto a la cara verde; mientras que en 1994 lo fueron entre tres y cuatro veces (*Figura 1-44*).

El factor cara fué significativo, tanto para la recolección como para las fechas previas. En 1994, con condiciones poco favorables a la coloración, el color de la cara verde fué casi nulo, a pesar de verse incrementado por el riego, mientras que en 1993 fué muy superior; lo

que pone de manifiesto la importancia de los factores año y cara en la coloración de los frutos.

Figura 1-44

Las diferencias de color entre caras, más acentuadas en 1994, pueden considerarse normales debido a que *'Topred Delicious'* es una variedad de color poco intenso, y éste se ve favorecido por la luz, lo que pone de manifiesto que la síntesis de antocianos es, en la mayoría de variedades, fotodependiente. Este hecho, ha sido también puesto de manifiesto por otros autores (Bishop et al., 1975; Proctor et al., 1976; Mancinelli, 1985). Arakawa et al. (1986) y Arakawa (1988b), señalaron que la respuesta a la luz y la capacidad de coloración dependía además de otros factores de la temperatura y de la variedad. En experiencias expuestas en el presente trabajo con la variedad *'Early Red One'*, de buena aptitud a la coloración, los contenidos de antocianos fueron muy superiores, y las diferencias entre caras menores; mientras que en la variedad *'Starking Delicious'* dichos contenidos fueron todavía inferiores a los de *'Topred Delicious'*, y las diferencias entre caras mayores (Figura 1-65). Ello pone de manifiesto, que cuanto mayor es la facilidad de coloración de las variedades, menores son las diferencias en el contenido de antocianos entre caras.

En base a los resultados expuestos para los años 1993 y 1994, puede concluirse, que las diferentes estrategias de riego modificaron significativamente los contenidos de antocianos y la coloración de los frutos; siendo los riegos aplicados al anochecer y al amanecer los que proporcionaron los mejores resultados. Estas observaciones, son coincidentes a las expuestas anteriormente para los parámetros colorimétricos, y coinciden con los resultados obtenidos por Evans (1993a); según los cuales, el riego refrescante por aspersión de forma continua mejoró el color, tanto si se aplicaba al anochecer como al amanecer.

En los dos años, fué antes de la recolección, cuando se produjo el mayor incremento de los contenidos de antocianos, y una evolución diferencial entre tratamientos, debido probablemente a que el desarrollo del color (síntesis de antocianos) tiene lugar mayoritariamente durante las dos o tres semanas que preceden a la recolección (Chalmers et al., 1973; Recasens, 1982; Arakawa, 1988b; Singha et al., 1994). Con los riegos al anochecer y al amanecer, se obtuvo una mayor precocidad en la coloración, debido al incremento de los contenidos de antocianos en las fechas previas a la recolección. Dicho incremento se debió a la mayor coloración de la cara roja, dado que para la cara verde no existieron diferencias entre tratamientos, y pone de manifiesto la importancia de la luz en la síntesis de antocianos. De lo expuesto, se deduce que las estrategias de riego que incrementaron el color en la recolección, también lo incrementaron en las fechas previas. Análogos resultados se obtuvieron por Singha et al. (1994) en variedades *'Red Delicious'*, con respecto a la precocidad del color. Los valores de los parámetros colorimétricos -incremento de a^*/b^* , disminución del Tono- han tenido un comportamiento similar al de los contenidos de antocianos.

El efecto beneficioso del riego refrescante, o de las diferencias entre años, se debería a la disminución de las temperaturas, dado que observaciones realizadas por diversos autores (Diener et al., 1981; Recasens et al., 1983; Faragher et al., 1984; Williams, 1989; Williams et al., 1989; Saure, 1990; Williams, 1993), indican que las bajas temperaturas durante la noche y/o durante el día tienen un efecto positivo en la síntesis de antocianos. Las bajas temperaturas también estimulan la síntesis de antocianos al incrementar la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa -PAL- (Faragher et al., 1983), enzima que regula el primer eslabón de la síntesis de los antocianos.

2.6.- Significación de factores principales y de sus interacciones

La influencia del factor riego se ha analizado detalladamente en los apartados anteriores; sin embargo, la metodología de muestreo, por árboles, frutos y caras, permite obtener información de interés agronómico, acerca de la distribución del color tanto en las caras, como en los frutos y en el conjunto del árbol; y como interacciona el riego con los mismos. La no significación de dichos factores y de sus interacciones, indica mayor uniformidad del color, y una influencia no significativa del factor riego. En el [Cuadro 29](#) (tabla 1-28), se han indicado para el contenido de antocianos, L*, a*/b*, Tono y DE* la interacción de los factores: riego, árbol, fruto y cara, y de sus principales interacciones, en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994. Dichas interacciones se calcularon para todas las fechas de muestreo.

Factor	1993					1994				
	Anto.	L*	a*/b*	Tono	DE*	Anto.	L*	a*/b*	Tono	DE*
ARBOL x RIEGO	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	**	**	ns
ARBOL x RIEGO x FRUTO	**	*	**	*	*	*	*	**	**	**
CARA	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
RIEGO x CARA	ns	*	*	*	ns	**	**	**	*	ns

Cuadro 29: Significación de algunos factores y/o de sus interacciones, para el contenido de antocianos, L*, a*/b*, Tono y DE*, de la variedad '*Topred Delicious*', bajo dos estrategias de riego refrescante por aspersión, en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994. Se indica el nivel de significación de cada factor y/o de sus interacciones.

Anto.: Contenido de antocianos.

ns: no significativo.

(*), (**): nivel de significación =0,05 y =0,01; respectivamente.

La interacción de los factores *árbol x riego*, fue significativa para la mayoría de parámetros en 1994, y para algunos en 1993, lo que indica que se dieron diferencias entre los diferentes árboles correspondientes a un mismo riego. En años de más difícil coloración, como 1994, dichas diferencias fueron más importantes. En todos los casos, la significación fue mayor, con respecto a variedades de mayor coloración ('*Early Red One*' o '*Oregón Spur*').

La interacción triple *árbol x riego x fruto*, fue significativa para la mayoría de parámetros, lo que indica que para los diferentes árboles sometidos a un mismo riego, se dieron diferencias entre frutos. Ello pone de manifiesto, la poca uniformidad del color en el conjunto del árbol, aspecto observado también visualmente; lo que obliga a realizar varias pasadas de recolección para homogeneizar el color. A medida que avanza la edad de los árboles, la irregularidad del color es más manifiesta, debido a la poca estabilidad de algunos mutantes del grupo '*Red Delicious*' como '*Topred Delicious*' (Mol et al., 1988; Fisher et al., 1989; Buscaroli, 1995). Experiencias realizadas por Blizzard et al. (1988), indican la escasa coloración de dicha variedad, con respecto a otras evaluadas en experiencias de riego refrescante en la presente Tesis, como '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*'.

El factor cara mostró significación para todos los parámetros, y por tanto existieron diferencias de color entre las dos caras del fruto, más importantes en años de poca coloración como el 1994. Los resultados expuestos en el apartado anterior ponen de manifiesto las diferencias de color entre caras ([Figuras 1-40](#) y [1-44](#)). La interacción *riego x cara*, fue significativa para la mayoría de parámetros y para los dos años, e indica que el riego afectó de forma diferente a la coloración de las dos caras del fruto, incrementando el color principalmente de la cara roja. Estos resultados, difieren de los obtenidos con las variedades '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*', para las cuales dicha interacción no fue, en general,

significativa.

En base a lo que se acaba de exponer, puede concluirse, que existieron diferencias en el color de las dos caras del fruto, las cuales presentaron una coloración diferente según el sistema de riego, y que el color fué diferente para los frutos de un mismo árbol y entre los diferentes árboles de un mismo tratamiento.

En el apartado siguiente, se ha analizado la significación de los factores riego y año con el factor fecha, debido a su influencia en el color de los frutos.

2.7.- Análisis conjunto años 1993 y 1994. Influencia de los factores riego y año

2.7.1. -Parámetros colorimétricos

En los dos años estudiados, el incremento más importante de la concentración de antocianos, y la mayor evolución de los parámetros colorimétricos, tuvo lugar al aproximarse la recolección, lo que pone en evidencia el efecto del tiempo en el proceso de coloración de los frutos (Arakawa, 1988b; Singha et al., 1994). Para evaluar su efecto, en el análisis estadístico se introdujo el factor fecha y se calculó para el período 1993-1994, la interacción de los factores *fecha x riego* para los parámetros colorimétricos L*, a*/b*, Tono y DE*, y para el contenido de antocianos. Se consideraron las tres fechas de muestreo comunes a 1993 y 1994 para los diferentes tratamientos; los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 30](#) (tabla 1-29).

Parámetro	Riego	DETERMINACIONES (FECHAS)			Interacción FECHA x RIEGO
		1 : Primera	2 : Segunda	3 : Recolección	
L*	Noche	62,3 a	58,9 a	50,0 b	*
	Mediodía	62,9 a	60,5 a	50,6 ab	
	Testigo	61,7 a	59,7 a	52,2 a	
a*/b*	Noche	-0,04 a	0,26 b	1,30 a	*
	Mediodía	-0,02 a	0,16 a	1,00 b	
	Testigo	0,04 a	0,10 a	0,90 b	
Tono (°)	Noche	92,1 a	79,6 a	49,0 b	ns
	Mediodía	95,4 a	82,0 a	51,3 a	
	Testigo	89,1 a	84,5 a	58,0 a	
DE*	Noche	52,4 a	50,1 a	48,4 a	ns
	Mediodía	53,4 a	50,9 a	48,0a	
	Testigo	52,9 a	50,5 a	49,2 a	

Cuadro 30: Valores de los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de los años 1993 y 1994 para los diferentes tratamientos, y significación de la interacción *fecha x riego*, variedad 'Topred Delicious'. Tratamientos con la misma letra en las columnas, no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0,05$).

ns: no significativo.

(*): nivel de significación $\alpha=0,05$.

Los valores medios de los años 1993 y 1994 para los diferentes tratamientos, no presentaron diferencias entre riegos en la primera y segunda fecha de muestreo, a excepción de a*/b*, que en la segunda fecha fué superior para el riego al anochecer. En el momento de la recolección, los mayores valores de a*/b* y los menores de L* y del Tono, correspondieron al riego al anochecer, no existiendo diferencias entre riegos para L*; mientras que para DE*, no hubo diferencias entre tratamientos.

Se calcularon también las principales interacciones entre factores principales, y que tienen interés agronómico, concretamente la interacción de los factores *fecha x riego*, que fue significativa para L^* y a^*/b^* , lo que indica que la evolución de dichos parámetros, se vio afectada por el sistema de riego, disminuyendo su valor (L^*), o incrementándolo (a^*/b^*) de forma significativa, el riego al anochecer.

Debido al efecto de las temperaturas en la coloración de los frutos, y teniendo en cuenta que se produjeron variaciones importantes entre los años 1993 y 1994, es de interés conocer el efecto del factor año en la coloración de los frutos. Como se ha expuesto en las *Figuras 1-40* y *1-44*, las diferencias entre 1993 y 1994 fueron especialmente importantes en la cara verde, correspondiendo los menores valores a 1994, año con temperaturas más elevadas que en 1993.

Para conocer el efecto del año, se analizaron conjuntamente los años 1993 y 1994, introduciendo en el modelo de análisis de varianza el factor año. Se calcularon los parámetros colorimétricos, correspondientes a la media de tratamientos para 1993 y 1994, y para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. Tanto en el momento de la recolección, como en las dos fechas previas, las diferencias entre los dos años fueron significativas para todos los parámetros estudiados. La interacción *fecha x año* fue significativa para todos los parámetros, lo que pone de manifiesto la influencia del factor año en los parámetros colorimétricos; indicando que su evolución para las diferentes fechas, dependió del año. Resultados análogos, se obtuvieron con los contenidos de antocianos.

Lo expuesto anteriormente pone en evidencia, la influencia de los factores fecha y año en los parámetros colorimétricos del fruto. Si éstos se analizan conjuntamente para los dos años, puede concluirse, que los dos tipos de riego refrescante modificaron el color de los frutos; siendo el riego al anochecer, el que proporcionó diferencias significativas para todos los parámetros, cuyos valores (mayor a^*/b^* , menor Tono) indican una mayor coloración, tanto en la recolección como en la fecha previa. Analizando los años, el mayor color correspondió a 1993, en que se dieron temperaturas inferiores y evidencia que la coloración de los frutos se vio afectada por los cambios de temperatura, provocados por el riego refrescante, o por las variaciones estacionales entre años.

2.7.2. -Contenido de antocianos

Tanto en 1993 como en 1994, el incremento más importante de la concentración de antocianos, tuvo lugar durante los 20 días antes de la recolección. Así mismo, el contenido de antocianos, indica una menor coloración de la cara sombreada con respecto a la cara más iluminada. Si se comparan los años, los mayores valores correspondieron a 1993, lo que puede deberse a las diferencias en las temperaturas mínimas diarias entre ambos años, en el período previo a la recolección, como se ha expuesto en el Apartado: "*Análisis de las condiciones climáticas*". La influencia de un mayor salto térmico, junto a las bajas temperaturas, se ha señalado en numerosas referencias, como favorecedor de la coloración (Blankenship, 1987; Tan 1979; 1980). Sin embargo, en las experiencias realizadas, no hubo diferencias importantes entre los dos años, lo que indica que fueron las temperaturas mínimas en 1993 las que tuvieron un efecto importante en la síntesis de antocianos

Por otra parte, el efecto del riego refrescante por aspersión en la mejora del color, se debe a que su aplicación provoca una disminución de la temperaturas máximas o mínimas de los frutos, durante el período en que es aplicado.

Como resultado global de la experiencia, interesa comparar de forma conjunta los resultados obtenidos durante los dos años del ensayo, y evaluar el efecto de los factores riego y año en el contenido de antocianos, para lo cual se ha calculado su evolución,

correspondiente a cada tratamiento, y a la media de tratamientos (*Figura 1-45*).

[Figura 1-45](#)

Si se analiza el efecto del riego, puede observarse que en la recolección, el riego al anochecer proporcionó los valores más elevados de los contenidos de antocianos, siendo superiores a los de mediodía y al testigo. En la fecha previa no hubo diferencias entre tratamientos. Considerando el factor año, y teniendo en cuenta la media de tratamientos, tanto en la recolección como en la primera fecha, los contenidos correspondientes a 1993, fueron superiores a los de 1994. La interacción *fecha x riego*, fué significativa, lo que indica que el contenido de antocianos para las distintas fechas, se vió influenciado de forma consistente por el sistema de riego.

Puede concluirse, que las variaciones de temperatura debidas al riego refrescante y/o a las diferencias entre años, han influido significativamente en la síntesis de antocianos y por tanto en el color de los frutos. Diversos autores han puesto en evidencia, la importancia de las temperaturas en la coloración de los frutos, especialmente en el período previo a la recolección (Tan, 1979; 1980; Clerinx, 1983; Faragher et al., 1984; Williams, 1989; Williams et al., 1989; Saure, 1990; Recasens et al., 1993; Williams, 1993). Los resultados expuestos, son coincidentes con los expuestos por Unrath (1972a,b), Crassweller et al. (1989), Williams (1993) y Evans (1993a), en las que se observó una interacción significativa del color y del contenido de antocianos con el factor año.

2.8.- Efecto del riego refrescante en los porcentajes de cosecha

Diversos autores han considerado, que la coloración de los frutos estaba relacionada con la maduración de los mismos (Knee, 1972; Chalmers et al., 1973; Faragher, 1983; Faragher et al., 1984; Saure, 1990; Lancaster, 1992), por lo que, si el color se anticipó por el efecto del riego refrescante, podría adelantarse la recolección. Este aspecto es de interés en variedades rojas '*Delicious*', dado que, por razones comerciales, existe una demanda de manzana roja en fechas anteriores a su recolección habitual, para la que se obtienen buenas cotizaciones, si la coloración es la adecuada.

Para evaluar este aspecto, en la parcela del ensayo, y al igual que en el resto de la finca, se realizó una pasada 12 días antes de la recolección, para la cual se tuvieron en cuenta los mismos criterios comerciales (calibre > 75 mm, color > 70%), realizándose la recolección también por los mismos operarios. Para evaluar el efecto del riego en la mejora anticipada del color, se calculó el porcentaje de fruta recolectada, en la pasada previa a la recolección de los años 1993 y 1994 (*Figura 1-46*).

[Figura 1-46](#)

En 1993, el mayor porcentaje de frutos recolectados en la primera pasada, correspondió al riego al anochecer, siendo la diferencia de porcentajes entre éste y el testigo del 10%. En 1994, los mayores porcentajes se obtuvieron indistintamente con los riegos al amanecer y al anochecer, seguidos por el riego al mediodía, siendo todas las estrategias de riego superiores al testigo. La diferencia entre el riego al amanecer y el testigo fué del 20%, siendo del 18% entre el anochecer y el testigo, porcentaje que es casi el doble al obtenido en 1993; lo que pone de manifiesto las diferencias entre años y entre tratamientos. En 1994, el riego al mediodía, proporcionó valores superiores al testigo, lo que no ocurrió en 1993, y pudo ser debido, a que las temperaturas más bajas de 1993, enmascararon parcialmente el efecto producido por el riego refrescante por aspersión.

En experiencias realizadas por Unrath (1972a,b) con la variedad '*Red Delicious*', se realizaron recolecciones con una periodicidad semanal, obteniendo en la segunda pasada una diferencia acumulada, entre el riego por aspersión y el riego a manta, del 32,1%. En la

primera pasada, los porcentajes entre riegos fueron similares. Otras referencias, indican también un anticipo del color con el riego refrescante (Gilbert et al., 1970; Williams et al., 1989; Williams, 1993; Evans, 1993a), anticipo que no siempre se tradujo en un adelanto de la maduración.

Complementariamente y para el año 1994, se determinó de forma visual el color de los frutos, como porcentaje medio de la superficie del fruto coloreada. Los resultados obtenidos para los diferentes tratamientos fueron: anochecer (85,5%), mediodía (72,7%), amanecer (89,3%) y testigo (62,8%), no existiendo diferencias significativas entre riegos y si entre éstos y el testigo.

2.9.- Relación entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos del fruto

La determinación de los valores de cromaticidad del fruto y de sus correspondientes contenidos de antocianos, permite establecer las relaciones entre ambas variables. Para ello y siguiendo la metodología expuesta en el apartado Material y métodos: "*Tratamiento estadístico*", se realizó un análisis de regresión lineal múltiple y simple, con el objeto de conocer si las determinaciones realizadas con el colorímetro, podían ser utilizadas para predecir el contenido de antocianos de la piel del fruto.

El análisis de regresión se realizó en la recolección de los años 1993 y 1994, para el fruto entero y para las dos caras. Algunos de los modelos de regresión lineal múltiple obtenidos, figuran en el Cuadro 31 (*tabla 1-30*); siendo todos altamente significativos (**: $\alpha=0,01$).

Período / cara	Ecuación del modelo de regresión [Intervalo de confianza]*	R ²
1993+1994	y = -19,9 - 0,34 L* + 0,54a* + 13,4 (a*/b*) + 0,52 Tono + 0,23 Sat. - 0,10 DE*	0,79**
	L* = [-0, 12 -0, 56]; a* = [0, 84 0,24]; a*/ b* = [16,6 10,3]; Tono = [0,69 0,31]; Sat. = [0,42 0,06]; DE* = [-0,05 -0,14]	
1993	y = -38,4 - 3,3 L* - 2,4 a* + 3,6 b* + 15,9 (a*/b*) - 1,7 Tono + 76,5 Sat. + 80,7 DE*	0,77 **
	L* = [-0,95 -5,7]; a* 0,1 -4,9]; b* = [6,4 0,8]; a*/ b* = [27,5 4,3]; Tono = [-0, 1 -3,3]; Sat. = [-2,2 -39, 1]; DE* = [58,7 2,7]	
1994	y = 1,4 - 4 L* + 7,9 a*/b* - 2,1 sat. + 4,6 DE* L* = [-1,4 -6,6]; a*/ b* = [10,6 5,2]; sat. -0,7 -3,5); DE* = [7,6 1,6);	0,75
Cara roja	y = - 52,9 - 0,7 L* + 5,6 a* + 17,9 (a*/b*) + 2,3 Tono -4,5 Sat. -0,22 DE*	0,66**
	L* = [-0,3 -1,1*]; a*/b* = [26,5 9,3]; Tono=[3,9 0,7]; Sat. = [-1,0 -7,8]; DE*=[-0,12 -0,28]	
Cara verde	y = 53,1 + 1,5 a* - 0,5 Tono + 0,75 sat.	0,78**
	a* = [1,9 0,9]; b* = [-0,1 -0,7]; Tono = [0,8 0,3]; Sat. = [0,9 0,6]	

Cuadro 31: Modelos de regresión lineal múltiple, intervalos de confianza de las variables, coeficientes de determinación (R²), y significación de diferentes modelos de regresión lineal múltiple entre el contenido de antocianos y los valores colorimétricos de la variedad 'Troped Delicious', en el momento de la recolección y para los años de 1993 t 1994.

(y): contenido de antocianos.

(*): nivel de significación =0,05

(**): nivel de significación =0,01.

Los valores del coeficiente de determinación (R²), considerando los valores de 1993 y 1994 conjuntamente, fué de 0,79; mientras que si se considera unicamente 1993, el valor fué de 0,77, y de 0,75 para 1994. Los valores obtenidos fueron por tanto similares, cosa que no ocurrió con otras variedades ('Starking Delicious', 'Mondial Gala', etc.), para las cuales, los mayores valores correspondieron a 1993, que fué el año de mayor coloración. El valor de R² correspondiente a la roja del fruto, presentó una relación inferior con el contenido de antocianos que la cara verde, hecho éste, que también se dió en 'Starking Delicious'.

Por tanto, los valores obtenidos para la totalidad del fruto, si se consideran conjunta o separadamente los años 1993 y 1994, o bien por caras; indicarían una buena predicción de los contenidos de antocianos en base a los parámetros colorimétricos, ya que han oscilado entre 0,66 y 0,79, y son similares a los obtenidos en experiencias similares con variedades 'Red Delicious' (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1994; Graell et al., 1993). También es importante destacar, que en todos los modelos de regresión lineal múltiple, a excepción del correspondiente a la cara verde, aparece el ratio a*/b*, que en numerosos estudios se considera, que está bien relacionado con la apreciación visual del color (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1991a,b; Baugher et al., 1995).

Se realizó un análisis de regresión simple, entre el contenido de antocianos y cada uno de los los valores colorimétricos, considerando de forma conjunta y de forma separada los años 1993 y 1994, para el fruto entero y por caras. En la *Figura 1-47*, se han representado las regresiones que presentaron el mejor ajuste para valores conjuntos de 1993 y 1994, y que fueron significativas (α 0,05).

Figura 1-47

La bondad del ajuste ha sido similar para L^* , a^*/b^* , Tono y DE^* , obteniendo valores de R^2 entre 0,76 y 0,80; las ecuaciones son de tipo potencial para L^* , Tono y DE^* , y exponencial para a^*/b^* . Las regresiones simples correspondientes a 1993 y 1994, proporcionaron valores similares de R^2 , aunque fueron ligeramente superiores para 1994. Los mejores coeficientes de determinación (R^2) para 1993 fueron: $L^* = 0,74$; $a^* = 0,70$; $a^*/b^* = 0,73$; Tono = 0,74; siendo para 1994, los siguientes: $L^* = 0,77$; $a^* = 0,76$; $b^* = 0,76$; $a^*/b^* = 0,77$; Tono = 0,77 y $DE^* = 0,75$.

Si se tiene en cuenta de forma conjunta los años 1993 y 1994, se obtuvieron mejores ajustes para la cara verde que para la cara roja, al igual que ocurrió con las regresiones lineales múltiples (tab 30 Cuadro 31). En todos los casos, el parámetro colorimétrico Saturación, fué el que se relacionó peor con el contenido de antocianos, mientras que para a^* , se obtuvieron valores siempre inferiores a a^*/b^* y al Tono. Las mejores ecuaciones de ajuste, correspondieron a los tipos exponencial y potencial, y en menores ocasiones a logarítmicos y polinómicos.

Las regresiones realizadas, han proporcionado valores de los coeficientes de determinación superiores al 65%, lo que indica que los modelos de regresión explicaron una buena parte de la variabilidad existente, más aún teniendo en cuenta el elevado número de observaciones utilizadas para el ajuste y la significación de las regresiones, por lo que es posible la predicción de los contenidos de antocianos, en base a los parámetros colorimétricos. Han sido los parámetros: L^* , a^*/b^* y Tono, los que han proporcionado los mejores ajustes. Resultados similares han expuesto otros autores (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993), al evaluar variedades '*Red Delicious*'; se obtuvieron mejores ajustes para a^*/b^* que para a^* o b^* separadamente, a pesar de ser a^* la coordenada que indica el color rojo. Fué también a^*/b^* , el que mejor se relacionó con la apreciación visual del color y con los contenidos de antocianos.

Para el año 1994, se realizó una estimación visual de la coloración de los frutos expresando el resultado en una escala hedónica de 0 a 10, correspondiendo a los frutos con menor color el valor 0, y a los de máximo atractivo y color, el valor 10. Posteriormente, se relacionó dicho parámetro con el contenido de antocianos de los mismos, calculando diferentes modelos de regresión simple, obteniendo valores de los coeficientes de determinación próximos a 0,75. Cuando el ratio de apreciación visual del color, se relacionó con las variables colorimétricas, el mejor ajuste se obtuvo para L^* , a^*/b^* y Tono, oscilando R^2 entre 0,61 y 0,74; mientras que el peor ajuste se obtuvo con la Saturación. Los resultados obtenidos indican que la medición del color con un colorímetro, se aproxima de forma aceptable a la apreciación visual del mismo, y son similares a los expuestos otros autores en variedades '*Red Delicious*' (Singha et al., 1991a,b).

2.10.- Influencia del riego refrescante en los parámetros de calidad del fruto

Además de la influencia de las diferentes estrategias de riego en el color, es de interés conocer su efecto sobre otros parámetros de calidad de los frutos, como son: la firmeza, el contenido de sólidos solubles, la acidez, la relación sólidos solubles/acidez, el calibre y el peso del fruto, dado que determinan globalmente la valoración final de los frutos. Dichos

parámetros, se determinaron en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994. Los resultados obtenidos se exponen en el el *Cuadro 32 (tabla 1-31)*.

Parámetro	Riego	1993	1994	Interacción AÑOxRIEGO
Peso¹ (g)	<i>Noche</i>	257,1 a	182,7 a	ns
	<i>Mediodía</i>	253,2 a	176,3 a	
	<i>Amanecer</i>	-	188,8 a	
	<i>Testigo</i>	247,7 a	169,3 a	
Calibre¹ (mm)	<i>Noche</i>	85,5 a	73,3 a	ns
	<i>Mediodía</i>	84,7 a	71,8 a	
	<i>Amanecer</i>	-	72,9 a	
	<i>Testigo</i>	82,6 a	71,0 a	
Firmeza² (kg)	<i>Noche</i>	7,5 a	7,1 a	ns
	<i>Mediodía</i>	7,7 a	7,2 a	
	<i>Amanecer</i>	-	7,1 a	
	<i>Testigo</i>	7,0 b	6,6 b	
Sólidos solubles³ (°Brix)	<i>Noche</i>	11,8 a	10,9 ab	ns
	<i>Mediodía</i>	11,9 a	11,6 a	
	<i>Amanecer</i>	-	11,7 a	
	<i>Testigo</i>	11,4 b	10,6 b	
Acidez³ (g/l)	<i>Noche</i>	3,1 ab	2,7 ab	ns
	<i>Mediodía</i>	3,3 a	2,8 a	
	<i>Amanecer</i>	-	2,5 b	
	<i>Testigo</i>	2,8 b	2,6 b	
Sólidos solubles/ acidez³	<i>Noche</i>	3,7 b	4,0 b	ns
	<i>Mediodía</i>	3,6 b	4,1 b	
	<i>Amanecer</i>	-	4,7 a	
	<i>Testigo</i>	4,0 a	4,0 b	

Cuadro 32: Influencia de diferentes estrategias de riego refrescante en los parámetros de calidad de los frutos de variedad '*Troped Delicious*', años 1993 y 1994. Tratamiento con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$). Se indica la significación de la interacción *año x riego*.

(1) Cada valor corresponde a la media de 70 determinaciones.

(2) Cada valor corresponde a la media de 140 determinaciones.

(3) Cada valor corresponde a la media de 5 determinaciones.

(ns): no significativo

El peso del fruto, no presentó diferencias entre tratamientos, a excepción del testigo, que en 1994, proporcionó valores inferiores a los tratamientos de riego. Respecto al calibre, tampoco hubo diferencias entre tratamientos; los valores, tanto del peso como del calibre, fueron superiores en 1993. Para la firmeza de la pulpa, los menores valores correspondieron al testigo, no existiendo diferencias entre las diferentes estrategias de riego, y siendo los resultados obtenidos en 1993 y 1994 similares.

El contenido de sólidos solubles en 1993, no presentó diferencias entre el riego al mediodía y al anochecer, y sí entre éstos y el testigo. Lo mismo ocurrió en 1994, diferenciándose en que no existieron diferencias entre el testigo y el riego al anochecer. La acidez titulable fué similar para los dos tipos de riego, y superior del riego al mediodía con respecto al testigo. La mayor relación azúcares/acidez, correspondió al riego al amanecer, no existiendo diferencias entre el resto de tratamientos. Con el riego al amanecer, evaluado solamente en 1994, se obtuvieron resultados similares al resto de tratamientos de riego, para todos los parámetros, a excepción de la relación azúcares/acidez.

En base a los resultados obtenidos se deduce, que para todas las alternativas de riego,

tanto del peso medio del fruto como del calibre, fueron los habituales para la variedad '*Topred Delicious*' en condiciones normales de cultivo. Los valores de firmeza correspondientes a 1993, se encuentran en el intervalo 7-7,5; considerado como óptimo (Urbina, 1990), mientras que para 1994 fueron inferiores; lo que ocurrió también con otras variedades, debido probablemente, a las elevadas temperaturas que se dieron en el período previo a la recolección. Para el resto de parámetros analizados, los valores obtenidos, se encuentran en los intervalos considerados como adecuados para variedades '*Red Delicious*'. El contenido de sólidos solubles fué superior a 11° Brix (Urbina, 1990), aunque algunos valores no se encuentran dentro del rango óptimo de 12-14° Brix (Herrero et al., 1992). La acidez ha sido, para la mayoría de tratamientos, próxima a 3g/l, y en algunos casos superior, valor éste considerado como adecuado (Duran, 1983; Delhom, 1986).

La interacción *año x riego*, no fué significativa para ninguno de los dos parámetros, lo que indica que el efecto del riego en los mismos no dependió del factor año, al contrario de lo observado en los parámetros colorimétricos, y en el contenido de antocianos. Ello indica, que la respuesta al riego no dependió, o no se vió influenciada por el factor año. En ensayos realizados por Williams (1993) con variedades '*Red Delicious*', la interacción *riego x año* no fué significativa, pero si hubo significación en la interacción triple *riego x localidad x año*. Considerando conjuntamente los años 1993 y 1994, no sedieron diferencias entre riegos en el peso y el calibre de los frutos. Con respecto a la firmeza, los dos tipos de riego proporcionaron valores similares, y fueron superiores al testigo, mientras que no se detectaron diferencias en el contenido de sólidos solubles, la acidez y la relación sólidos solubles/acidez.

Teniendo en cuenta el conjunto de parámetros de calidad del fruto, puede concluirse, que la mayoría de éstos, en especial la firmeza y el contenido de sólidos solubles, se vieron mejorados por el efecto del riego refrescante. De las tres estrategias de riego evaluadas, fué el riego aplicado al mediodía el que proporcionó valores que evidencian una mayor calidad de los frutos, a pesar de que en muchos parámetros, no hubo diferencias entre las mismas.

Los resultados expuestos, son coincidentes a los obtenidos en trabajos previos con variedades de manzana, donde el riego se aplicaba diariamente, de forma continua o cíclica, durante las horas de máximo calor. El riego reducía el estrés hídrico y los paros en el crecimiento del fruto, al alcanzarse temperaturas elevadas; consecuentemente, tanto las producciones como la calidad de los frutos, se incrementaba (Barbee, 1971; Unrath, 1972b; Recasens, 1982; Recasens et al., 1984;1988; Lowell, 1989; Williams, 1993). En trabajos realizados por Unrath (1972a,b) con la variedad '*Red Delicious*', el peso del fruto, no se vió influenciado de forma consistente por el efecto del riego refrescante, presentando los frutos refrescados un mayor contenido de sólidos solubles. Williams (1993) obtuvo un mayor contenido de sólidos solubles, y mayor acidez en los frutos sometidos a riego refrescante aplicado al mediodía. En experiencias con variedades '*Delicious*', el riego refrescante aplicado al alcanzarse las temperaturas diarias máximas, incrementó el peso del fruto, el contenido de azúcares y la acidez (Barbee, 1971; Recasens, 1982; Recasens et al., 1984, 1988; Williams, 1993).

En base a las referencias disponibles, y a los resultados obtenidos, parece lógico que el riego aplicado al mediodía tenga un efecto en la mejora de la calidad, dado que al aplicarse en el momento de máximas temperaturas disminuye el estrés de la planta y se incrementa la actividad fotosintética, lo cual es favorable para el desarrollo del fruto y del color. En los riegos aplicados al anochecer y al amanecer, los resultados no difieren, para algunos parámetros, del testigo; dado que las condiciones ambientales de la plantación en el momento en que se aplican dichos riegos, pueden considerarse más idóneas para el desarrollo del fruto, y por tanto difieren en gran medida de las que se dan al mediodía. El efecto del factor año ha

tenido también un efecto en algunos parámetros de calidad del fruto, observándose diferencias entre años.

2.11.- Conclusiones

En base a los resultados que se acaban de exponer, donde se ha evaluado la respuesta a diferentes estrategias de riego refrescante con la variedad '*Topred Delicious*' durante los años 1993 y 1994, se exponen las siguientes conclusiones:

Las diferentes estrategias de riego refrescante por aspersión evaluadas, modificaron sustancialmente la temperatura del fruto, así como la temperatura y la humedad relativa ambiental.

En base a los parámetros colorimétricos L^* , a^* , a^*/b^* y Tono, fueron los riegos refrescantes aplicados al anochecer y al amanecer, los que proporcionaron -tanto en la recolección como en la fecha previa- el mayor color de los frutos. Con el riego aplicado al amanecer se obtuvieron, en 1994, valores intermedios entre las otras estrategias de riego y el testigo.

El mayor contenido de antocianos, tanto en la recolección como en las fechas previas, correspondió también a los riegos aplicados al anochecer y al amanecer. Tratamientos que proporcionaron una mayor coloración en la recolección, originaron también un anticipo o una mayor precocidad de la misma.

La modificación de los parámetros colorimétricos y de los contenidos de antocianos, es decir, la respuesta al riego refrescante, fué más importante en 1994, año en que se dieron condiciones climáticas más desfavorables para el desarrollo del color que en 1993.

El factor año influyó significativamente en la coloración, correspondiendo el mayor color al año 1993, en que se dieron las temperaturas más bajas, las cuales favorecieron una mayor uniformidad del color y enmascararon parcialmente el efecto del riego por aspersión en el color de los frutos.

La acumulación de antocianos y la evolución de los valores de cromaticidad fueron más importantes durante los 20 días previos a la recolección, especialmente en los frutos tratados con riego refrescante. Fué en dicho período cuando se produjo una evolución diferencial entre los diferentes tratamientos.

La distribución del color en el fruto muestra importantes diferencias entre las dos caras del fruto, especialmente en 1994, lo que indica la poca uniformidad del color de la variedad '*Topred Delicious*'.

En la recolección, se puede realizar una predicción aceptable de los contenidos en antocianos en base a los valores de cromaticidad obtenidos con el colorímetro, siendo el parámetro a^*/b^* el que proporcionó el mejor ajuste.

Los parámetros de calidad del fruto se han visto, en general, mejorados por todas las estrategias de riego refrescante, en especial la firmeza y el contenido de sólidos solubles, correspondiendo los mejores valores al riego aplicado al mediodía.

3.- VARIEDAD 'MONDIAL GALA' : AÑOS 1993 Y 1994

Las variedades del grupo '*Gala*', han conocido durante los últimos años una notable expansión en todas las zonas frutícolas. Para variedades de recolección estival, el problema del color en zonas cálidas y calurosas se acentúa, dado que la recolección se realiza en el

período en que se alcanzan temperaturas máximas, y por tanto más desfavorables para la coloración de los frutos. Actualmente, es la variedad '*Mondial Gala*', la que ofrece mayor interés dado que aporta una mejor coloración con respecto a '*Royal Gala*'. A pesar de ello, la recolección debe realizarse habitualmente en varias pasadas, con los consecuentes problemas de falta de calidad, ligados a la sobremaduración. La introducción de nuevas variedades de mayor coloración, puede constituir una alternativa de interés en las nuevas plantaciones; mientras que en plantaciones ya existentes una de las pocas alternativas para la mejora del color, lo constituye la aplicación del riego refrescante por aspersión.

Las experiencias de riego refrescante se realizaron durante los 1993 y 1994, con la variedad '*Mondial Gala*'. Las fechas de inicio, plena y final de floración, no presentaron diferencias entre variedades y fueron las siguientes:

* 1993: 9 de abril, 16 de abril y 26 de abril.

* 1994: 24 de marzo, 1 de abril y 10 de abril.

Con las experiencias planteadas durante los años 1993 y 1994, se ha pretendido conocer la respuesta al riego refrescante de la variedad '*Mondial Gala*', en lo referido a una posible anticipación del color y al incremento del mismo. Así como en variedades '*Red Delicious*', se dispone de abundante información sobre el efecto del riego refrescante, en la mejora del color (Lowell, 1981; Recasens, 1982; Recasens et al., 1988; Mayles, 1989; Williams et al., 1989; Willet, 1989; Evans, 1993a; Williams, 1993; Andrews, 1995; Warner, 1995 b,d), en las variedades del grupo '*Gala*', la información es escasa. Experiencias realizadas en el sur de Francia, indican una mejora del color por la aplicación del riego refrescante por aspersión (Bru, 1995).

Se ha comparado el efecto del riego refrescante por aspersión, aplicado 25 días antes de la recolección de los años 1993 y 1994, y en dos momentos del día: mediodía (15h a 17 h) y al anochecer (21h a 23h), en la modificación de las condiciones ambientales (humedad y temperatura), en la coloración (parámetros colorimétricos medidos con un colorímetro y el contenido de antocianos), y en los parámetros de calidad de los frutos. Se dispuso siempre de un testigo, sin la aplicación del riego por aspersión.

El hecho de escoger dichos momentos del día, se debe a que según experiencias realizadas por otros autores con riego refrescante, tanto la aplicación en el momento de máximas temperaturas, como al anochecer o amanecer mejoraron el color de los frutos. En parcelas de fruticultores se ha observado durante varios años, que la aplicación del riego refrescante al anochecer, mejoraba el color tanto de '*Royal Gala*' como de '*Mondial Gala*'.

El riego se aplicó de forma ininterrumpida durante 2 horas diarias, aportando unos 8 l/m² y día. En experiencias previas, también se había escogido como período de riego dos horas ya que se considera que es el tiempo necesario para refrescar el fruto en su totalidad. Este hecho se comprobó, midiendo la temperatura interna del fruto con una sonda de contacto. También es preciso recordar, que el riego refrescante, solamente se aplicó con el objetivo de disminuir la temperatura de los frutos y no como aporte hídrico, dado que en toda la parcela, se utilizó el riego localizado para satisfacer las necesidades hídricas.

3.1.- Análisis de las condiciones climáticas de los años 1993 y 1994

Debido a la influencia de la temperatura en la síntesis de antocianos, y por tanto en la coloración de los frutos (Proctor, 1974; Tan, 1979; Recasens et al., 1983; Saure, 1990), se realizó un seguimiento de las temperaturas máximas y mínimas, debido a las variaciones que pueden existir entre años. En la *Figura 1-48*, se han representado las temperaturas máximas y mínimas, correspondientes al período 12 de julio-9 de agosto de los años 1993 y 1994, período que precede a la recolección de la variedad '*Mondial Gala*'. Las temperaturas fueron

elevadas, con máximas que superaron los 35°C; tanto las máximas como las mínimas fueron inferiores en 1993.

[Figura 1-48](#)

Las temperaturas correspondieron las típicas de climas calurosos, con temperaturas máximas entre 27 y 41°C y con mínimas entre 13 y 22°C, poco favorables para el desarrollo del color. Las temperaturas máximas y mínimas correspondientes al período previo a la recolección de las variedades '*Red Delicious*' fueron inferiores (*Figura 1-49*), siendo las diferencias entre 1993 y 1994 más importantes, correspondiendo las menores a 1993. Por tanto, las temperaturas fueron más favorables para la coloración en dichas variedades, que para las del grupo '*Gala*', de recolección anterior.

También es de interés conocer el salto térmico diario, o diferencias entre temperaturas máximas y mínimas diarias, en el período previo a la recolección, por su posible influencia en la síntesis de antocianos (Tan, 1979;1980). En la *Figura 1-49*, se ha representado en forma de área dicha diferencia, para cada uno de los dos años estudiados. La diferencia acumulada, o lo que es lo mismo, el área formada por el salto térmico fué superior en 1994 en un 6%, con respecto a 1993, a pesar de que en 1993, las temperaturas tanto máximas como mínimas fueron inferiores. Ello se debe, a que también en 1993, las máximas fueron inferiores, por lo que el salto térmico no se incrementó respecto a 1994. A la vista de lo que se acaba de exponer, puede deducirse que para el período estudiado y comparando los años 1993 y 1994, pudo ser más importante para el color de los frutos la diferencia entre temperaturas mínimas diarias correspondientes a dichos años, que el salto térmico acumulado; aunque estas diferencias fueron menos importantes que en variedades del grupo '*Red Delicious*'; lo que explicaría las menores diferencias observadas entre años, en la coloración de los frutos en la variedad '*Mondial Gala*'.

[Figura 1-49](#)

Si se analiza la humedad relativa mínima para el mismo período, las diferencias entre los años 1993 y 1994, son menos relevantes en comparación con las temperaturas mínimas. La diferencia acumulada entre la humedad relativa máxima y mínima, fué para 1993 del 47%, y para 1994 del 53%, siendo por tanto similares, y correspondiendo la mayor diferencia entre humedades máxima y mínima al año 1994, que fué cuando se dió también el mayor salto térmico.

Analizando la evolución de la temperatura y de la humedad relativa, se observó una estrecha dependencia entre ambas variables, observándose una relación inversa entre las mismas; por lo que disminuciones de temperatura, estuvieron siempre asociadas a incrementos de humedad relativa. Ello es debido, a que la disminución de las temperaturas está originada por la evaporación del agua a la atmósfera, con el consecuente incremento de humedad relativa ambiental. En la *Figura 1-50*, se ha representado la ecuación de ajuste entre ambas variables, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2)=0,87; que indica la estrecha dependencia entre las mismas.

[Figura 1-50](#)

3.2.- Efecto del riego refrescante por aspersión en la temperatura y en la humedad ambiental

Durante los años 1993 y 1994, se realizó el seguimiento de las temperaturas y de la humedad relativa ambiental, mediante la colocación de termohigrógrafos en cada uno de los diferentes tratamientos, en el momento en que se iniciaron los riegos. Ello permitió conocer las modificaciones ambientales que se producían en el seno de la plantación, por el efecto del riego refrescante. En la *Figura 1-51*, se ha representado la evolución de dichas variables, a lo

largo de dos de los días en los cuales se aplicaron los riegos al mediodía y al anochecer.

Figura 1-51

La aplicación del riego a mediodía (15h-17h), provoca una disminución importante de la temperatura mientras dura el riego, posteriormente, ésta se incrementa hasta alcanzar un máximo que es inferior entre 3 y 5°C con respecto al testigo y al riego al anochecer; la humedad relativa ambiental se incrementa con respecto al testigo entre un 30% y un 55%. El hecho de que en el momento de iniciarse el riego, la humedad relativa sea mínima, es sumamente beneficioso, dado que la evaporación del agua y consecuentemente la capacidad de enfriamiento, no se ve limitada por la humedad atmosférica.

El riego aplicado al anochecer (21h-23h), acelera la disminución de la temperatura, siendo la mínima alcanzada inferior al testigo entre 2 y 4°C. La humedad relativa ambiental se incrementa también de forma más rápida, siendo el máximo alcanzado alrededor de un 10% superior con respecto al testigo. En este tipo de riego, la humedad máxima se mantiene en porcentajes elevados (entre el 90 y el 95%) durante un mayor período de tiempo, que en el riego al mediodía y que en el testigo. Al igual que ocurrió con el riego al amanecer en otras experiencias, en el riego al anochecer, la disminución de la temperatura depende de la evaporación del agua, que se ve condicionada o limitada por la elevada humedad ambiental ya de por sí existente (vease testigo -Figura 1-51 -) e incrementada por el efecto del riego.

Tanto en el testigo como en el riego al anochecer, las temperaturas máximas diarias se alcanzan alrededor de las 16 horas, y las mínimas entre las 7 y las 8 de la madrugada. Con respecto a la humedad relativa ambiental, la evolución es inversa a la seguida por las temperaturas, alcanzándose la mínima cuando se da la temperatura máxima y viceversa.

En base a lo expuesto anteriormente, puede concluirse, que el riego refrescante produce una modificación sustancial, tanto de las temperaturas (máximas y mínimas) como de la humedad relativa en el seno de la plantación. Estos resultados, son análogos a los obtenidos por Unrath (1972a,b), Williams et al. (1989) y Williams (1993), los cuales indican que la capacidad de refrescamiento está estrechamente relacionado con la humedad relativa, dado que la disminución de la temperatura implica siempre un incremento de la misma. Desde el punto de vista de la síntesis de antocianos, el efecto del riego radica en la modificación de las temperaturas durante los 20 a 25 días previos a la recolección, disminuyendo las temperaturas máximas (riego al mediodía), o las mínimas (riego al anochecer y al amanecer).

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

Para conocer la modificación de temperaturas que ocasionaba el riego refrescante en el interior del fruto, en 1994 y justamente en el momento en que finalizó la aplicación de cada una de las diferentes estrategias de riego refrescante, se procedió a medir la temperatura interna del fruto, utilizando un termómetro digital con sonda de contacto. Análogamente se había realizado en otras experiencias con riego refrescante (Unrath, 1972a,b; Lowel, 1981; Williams, 1989;1993).

Se determinaron, en tres fechas, las temperaturas de cada tratamiento de riego, siempre en comparación con el testigo y para frutos situados a la sombra. Para cada determinación, se utilizaron 5 frutos situados en la misma orientación en el árbol y de calibre similar. El riego refrescante, produjo disminuciones de temperatura en el interior del fruto de entre 3 y 6 °C, dependiendo del momento en que se aplicó el riego (Cuadro 33, ver tabla 1-32).

La mayor diferencia se dió entre el testigo y el riego al mediodía, detectándose diferencias en las temperaturas interna del fruto de 7,4°C. Dichos resultados, son coincidentes a los expuestos por Williams et al. (1989), Proebsting et al. (1984) y Andrews (1995).

Fecha (1994)	T ^a fruto (23h)		T ^a ambiente (23h)		T ^a fruto (17h)		T ^a ambiente (17h)	
	Noche	Testigo	Noche	Testigo	Mediodía	testigo	Mediodía	Testigo
19 julio	20,4 ^a	23,2	20,4	22,3	28,1	35,5	32,2	35,9
28 julio	19,6	22,5	19,2	21,2	27,1	34,1	32,1	35,8
5 agosto	17,6	20,7	18,3	20,1	25,6	29,7	29,3	31,6
MEDIA	19,2	22,1	19,3	21,2	26,9	33,1	31,1	34,5

Cuadro 33: Valores medios, para cuatro fechas, de la temperatura ambiente y de la temperatura interna de los frutos bajo dos estrategias de riego refrescante por aspersión en la variedad 'Mondial Gala'. La temperatura corresponde en cada fecha al momento en que finalizaron las diferentes alternativas de riego, comparándose en cada momento con el testigo.

(a): cada valor corresponde a la media de 5 determinaciones.

En el testigo la temperatura de frutos expuestos directamente a los rayos solares fué superior en 6°C con respecto a frutos situados en la sombra. Las dos estrategias de riego refrescante, disminuyeron la temperatura del fruto y del ambiente. Con respecto al riego al anochecer, tanto la temperatura del fruto como la del ambiente, se disminuyó entre 2 y 3°C; lo que indica, que el riego provoca una disminución más rápida de las temperaturas con respecto al testigo. El riego al mediodía es el que provoca las mayores disminuciones de temperatura en el fruto (de hasta 8°C), debido a que provoca una evaporación máxima y por tanto un mayor refrescamiento en comparación con los otros tipos de riego, en los que se alcanza más rápidamente la humedad máxima y el refrescamiento se ve limitado.

Si se comparan las diferentes estrategias de riego refrescante, puede deducirse que a pesar de que en el riego al anochecer la disminución de la temperatura del fruto es menor, el fruto permaneció durante más tiempo a temperaturas más bajas, en comparación con el riego a mediodía. En este caso, una vez finalizado el riego, la temperatura del fruto vuelve a incrementarse rápidamente debido a que las temperaturas a las 17 h son todavía elevadas, por lo que, en comparación con los otros riegos, el período de modificación de la temperatura es menor. Así mismo, es probable que el efecto refrescante del fruto en la síntesis de antocianos pueda actuar de forma diferente según el tipo de riego, dado que en el riego al anochecer 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. En la experiencia se trata por tanto de conocer como dichas modificaciones afectan a la síntesis de antocianos y consecuentemente a la coloración de los frutos.

El efecto de la disminución de la temperatura al mediodía en el incremento de la síntesis de antocianos, se debe a que disminuye el estrés de la planta provocado por temperaturas elevadas, consecuentemente se incrementa la actividad fotosintética y se dispone de más hidratos de carbono para la síntesis de antocianos. El riego aplicado al anochecer disminuye la temperatura nocturna y consecuentemente la respiración de la planta, por lo que se consumen menos azúcares que se utilizaran posteriormente en la síntesis de antocianos (Saure, 1990; Williams, 1989; Williams et al., 1989; Williams, 1993).

El agua utilizada para el riego refrescante procedía de un embalse situado junto a la parcela, oscilando la temperatura de la misma en el período en que se aplicó el riego entre 23,6 y los 26,4°C, correspondiendo la máxima temperatura a finales de julio de 1993 y 1994. Diariamente la temperatura del agua experimentó variaciones de entre 1 y 3°C. La máxima temperatura se alcanzó alrededor de las 18 horas, y la mínima a las 8 horas. A pesar de ser la temperatura del agua elevada, el riego refrescante provocó una disminución importante de la temperatura del fruto; lo que induce a suponer, como han indicado diferentes autores (Evans,

1993; Williams et al., 1989; Mayles, 1989; Willet, 1989; Williams, 1993a,b), que el refrescamiento dependería en gran medida de la evaporación del agua depositada en los frutos, o de su evaporación a la atmósfera antes de alcanzar el fruto (refrescamiento del fruto por convección del aire refrescado).

3.4.- Efecto del riego por aspersión en la evolución de los parámetros colorimétricos del fruto

'*Mondial Gala*' es una variedad bicolor, que presenta una coloración con estrías poco evidentes en la cara más coloreada, y más evidentes o sin color en la cara sombreada del fruto. En la experiencia, se pretendía conocer, además del efecto de las dos estrategias de riego refrescante: aplicado al mediodía (15 a 17h) y al anochecer (21 a 23 h), en el color de los frutos; hasta que punto, las determinaciones del color con un colorímetro reflejaban la naturaleza del mismo y se relacionaban con los contenidos de antocianos de la piel del fruto. En diversas experiencias con variedades de coloración estriada, se ha puesto de manifiesto que la relación entre dichas variables es inferior con respecto a otras de color uniforme (Crassweller et al., 1985; 1991; Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993).

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en la determinación de los parámetros colorimétricos mediante el colorímetro portátil triestímulo Minolta CR-200, para las diferentes estrategias de riego refrescante, para las diferentes fechas de muestreo y para las dos caras del fruto y del fruto entero.

Dicha información es especialmente interesante, al permitir conocer la distribución y la uniformidad del color en el fruto, dado que en variedades bicolors, se dan mayores diferencias de color entre caras que en variedades '*Red Delicious*'.

El análisis conjunto del fruto, permite tener una cuantificación global de su color y posibilita una comparación más fácil entre tratamientos.

Las mediciones de color se realizaron en los frutos recolectados, posteriormente se procedió a la determinación del contenido de antocianos. Los parámetros colorimétricos calculados para cada fecha, y para cada cara del fruto fueron: L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , Tono, Saturación y DE^* . Su interpretación desde el punto de vista de color, y la metodología de cálculo, se ha expuesto en el apartado Introducción: "*El color y su medida*".

Se han analizado de forma separada los años 1993 y 1994, y posteriormente ambos de forma global; su evolución en el tiempo fué la siguiente:

* Disminución: L^* , b^* , Tono, Saturación y DE^* .

* Aumento: a^* y a^*/b^* .

De los diferentes parámetros L^* , a^* , a^*/b^* y Tono, han sido los que posteriormente en el análisis de regresión han proporcionado los mejores valores de los coeficientes de determinación. Con el parámetro L^* o luminosidad, se ha observado siempre una relación inversa con la coloración, dado que cuanto mayor es ésta (valores altos de a^*/b^* y bajos del Tono), menores son los valores de L^* .

Los coeficientes de variación, oscilaron mayoritariamente entre el 4,3% y el 37%, correspondiendo los mayores a a^* y a^*/b^* , y los menores a DE^* y L^* . Cuando superaron el 60%, y/o la varianza no fué homogénea (vease en Material y métodos: "*Tratamiento estadístico*"), se calcularon las medias pero no se realizó su separación. Comparando los años, y al igual que ocurrió con otras variedades, los menores coeficientes correspondieron a 1993, que fué el año de mejor coloración. La cara verde, presentó siempre valores más elevados que la cara roja. De los diferentes parámetros, los menores valores correspondieron a L^* , saturación y DE^* , mientras que los mayores fueron para a^* y a^*/b^* .

*** Resultados año 1993**

Se determinaron los parámetros colorimétricos colorimétricos, para cada cara del fruto en las siguientes fechas: 21/julio, 30/julio, y 9/agosto (recolección). Los resultados obtenidos para los parámetros L*, a*, a*/b* y Tono, se exponen en el [Cuadro 34](#) (tabla 1-33), donde figura la separación de medias, para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. Los riegos refrescantes se iniciaron el día 20 de julio.

Los valores correspondientes a la primera fecha de muestreo no presentaron diferencias entre las dos estrategias de riego y el testigo, lo que indica que en el momento de iniciarse los riegos, no existían diferencias entre tratamientos.

1993		21/julio			30/julio			9/agosto (recolección)		
Parámetro	Riego	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*	<i>Noche</i>	70,3 ⁺ a	64,8 ⁺⁺ a	75,8 ⁺⁺ a	72,3 ⁺ b	65,7 ⁺⁺ b	79,0 ⁺⁺ b	64,0⁰a	57,8⁰⁰a	71,8⁰⁰a
	<i>Mediodía</i>	69,3 a	64,0 a	74,6 a	81,8 a	78,1 a	85,5 a	71,9 a	64,3 a	78,5 b
	<i>Testigo</i>	70,6 a	64,3 a	77,0 a	75,4 ab	67,5 b	83,3 a	69,0 a	61,8 a	75,2 a
a*	<i>Noche</i>	-2,2 a	8,8 a	-13,2 a	16,5 a	20,9 a	12,1 a	17,4 a	24,2 a	10,7 a
	<i>Mediodía</i>	-4,7 a	5,4 a	-14,8 a	6,4 b	16,4 b	-3,5 b	9,0 b	12,0 b	6,0 ab
	<i>Testigo</i>	-3,6 a	7,4 a	-14,6 a	6,6 b	15,1 ab	-1,9 b	10,3	17,2 b	3,5 b
a*/b*	<i>Noche</i>	-0,03 a	0,31 a	-0,38 a	0,61 a	0,79 a	0,44 a	1,1 a	1,47 a	0,55 a
	<i>Mediodía</i>	-0,04 a	0,26 a	-0,33 a	0,13 b	0,42 b	-0,16 b	0,42 b	0,84 b	0,01 b
	<i>Testigo</i>	-0,5 a	0,21 a	-0,30 a	0,27 b	0,57 b	-0,03 b	0,64 b	1,10 ab	0,18 b
Tono (°)	<i>Noche</i>	90,8 a	74,2 a	107,4 a	59,8	52,7 b	66,9 a	54,9 b	43,3 b	66,5 b
	<i>Mediodía</i>	96,6 a	81,0 a	112,2 a	88,4 a	72,9 a	104,0 a	85,2 a	65,0 a	105,4 a
	<i>Testigo</i>	93,2 a	76,6 a	109,8 a	81,5 a	65,3 a	97,8 a	77,1 a	58,1 a	96,1 a

Cuadro 34: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo. Variedad 'Modial gala', bajo dos estrategias de riego refrescante, año 1993. tratamiento con la misma letra en las columnas, no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

(⁺) Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(⁺⁺) Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(⁰) Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(⁰⁰) Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En el momento de la recolección, y considerando el fruto entero, se dieron diferencias significativas para los parámetros a*, a*/b* y Tono. Considerando la cara roja, no existieron diferencias para el parámetro L*, mientras que para a*, el menor valor correspondió al riego al mediodía. El mayor ratio a*/b*, se obtuvo con el riego al anochecer. Con respecto al Tono, el menor valor correspondió al riego al anochecer, no existiendo diferencias entre el testigo y el riego al mediodía.

En la fecha previa a la recolección (30 de julio), y considerando la cara roja no existieron diferencias entre el riego al anochecer y el testigo para L*; mientras que el resto de parámetros, indican una mejor coloración de los frutos bajo el riego al anochecer, y similar entre el testigo y el riego al mediodía. Para la cara verde, el riego al amanecer proporcionó valores de L*, a* y a*/b*, diferentes al resto de tratamientos.

Lo anteriormente expuesto indica que, tanto en el momento de la recolección como en la fecha previa (30 de julio), los frutos sometidos al riego al anochecer presentaron una coloración significativamente mayor (mayores valores de a* y de a*/b*, menores valores de L* y del Tono), con respecto al riego al mediodía y el testigo, lo que indica también una mayor precocidad en la adquisición del color. En algunos casos, y contrariamente a lo que cabría esperar, con el testigo se obtuvieron valores que indican una mayor coloración que el riego al mediodía.

*** Resultados año 1994**

En 1994 se aplicaron las mismas estrategias de riego refrescante que en 1993. El inicio de la aplicación del riego refrescante correspondió al día 13 de julio, es decir unos 25 días antes de la recolección, realizándose las determinaciones de color en las siguientes fechas: 14/julio, 25/ julio, 2/agosto, 6/agosto (recolección), añadiéndose una fecha de muestreo con

respecto a 1993. Los resultados obtenidos para L*, a*, a*/b* y Tono, se exponen en el [Cuadro 35](#) (tabla 1-34); donde figura la separación de medias, para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones.

1994 Parám./ Riego	14/julio			25/julio			2/agosto			6/agosto (recolección)		
	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*												
Noche	71,8 ⁺ a	69,8 ⁺⁺ a	73,8 ⁺⁺ a	67,6 ⁺ a	61,8 ⁺⁺ a	73,5 ⁺⁺ a	61,3 ⁺ b	51,1 ⁺⁺ b	71,5 ⁺ a	53,5[*] b	35,1^{''} b	72^{''} b
Mediodía	72,2 a	70,2 a	74,3 a	68,6 a	63,2 a	74,0 a	65,0 ab	56,4 ab	73,6 a	56,3 a	39,4 a	73,2 a
Testigo	72,7 a	70,7 a	74,7 a	70,4 a	65,8 a	75,1 a	65,7 a	57,1 a	74,2 a	57,3 a	40,9 a	73,7 a
a*												
Noche	-13,0 a	-7,3 a	-18,7 a	0,99 a	10,9 a	-8,9 a	13,8 a	27,5 a	0,10 a	20,6 a	30,9 a	10,3 a
Mediodía	-15,2 a	-11,9 a	-18,5 a	-2,10 a	2,7 a	-7,0 a	11,4 a	24,4 a	-1,51 a	16,8 b	27,5 ab	6,2 a
Testigo	-14,0 a	-10,1 a	-17,9 a	-4,85 a	3,4 a	-13,1 a	7,1 b	19,5 b	-5,33 a	16,7 b	29,2 b	4,2 a
a*/b*												
Noche	-0,33 a	-0,26 a	-0,41 a	0,12 a	0,45 a	-0,21 a	0,68 a	1,26 a	0,10 a	1,22 a	2,2 a	0,25 a
Mediodía	-0,29 a	-0,18 a	-0,40 a	-0,02 b	0,24 a	-0,29 a	0,44 ab	1,00 ab	-0,11 a	0,97 b	1,8 ab	0,14 a
Testigo	-0,36 a	-0,33 a	-0,39 a	-0,08 b	0,14 a	-0,31 a	0,29 b	0,72 b	-0,14 a	0,86 b	1,6 b	0,12 a
Tono												
Noche	171,9a	165,0 a	178,8 a	105,5 a	62,0 a	149,1 a	66,6 b	43,1 b	90,0 b	49,9 b	25,7 b	74,2 b
Mediodía	175,1a	171,3 a	178,9 a	127,0 a	89,8 a	164,2 a	76,9 a	55,7 a	98,2 a	53,4 b	27,9 b	79,0 a
Testigo	177,4a	178,1 a	178,7 a	125,1 a	79,1 a	171,0 a	76,2 a	50,5 a	101,9 a	61,2 a	38,0 a	84,5 a

Cuadro 35: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roa (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo. Variedad 'Mondial Gala', bajo dos estrategias de riego refrescante, año 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

En el momento de la recolección, se dieron diferencias significativas para L*, a*, a*/b* y Tono. Considerando la cara roja, los menores valores de L* y del Tono correspondieron al riego al anochecer, no existiendo diferencias entre riegos para el Tono. Para a* y a*/b*, existieron diferencias entre el riego al anochecer y el testigo, correspondiendo los mayores valores al riego al anochecer, no detectándose diferencias entre riegos. Para la cara verde solamente existieron diferencias para L* y el Tono, correspondiendo los menores valores al riego al anochecer, y no existiendo diferencias entre el riego al mediodía y el testigo.

En la fecha previa a la recolección (2 de agosto), el riego al anochecer proporcionó los menores valores de L* y del Tono, y el mayor de a*/b*, no existiendo diferencias entre riegos. Para a*, no hubo diferencias entre riegos, y sí entre estos y el testigo. Para la cara verde, el menor valor del Tono correspondió al riego al anochecer, no existiendo diferencias en el resto de parámetros. En la segunda fecha de muestreo (25 de julio), para ninguno de los parámetros estudiados, existieron diferencias entre tratamientos. Las temperaturas correspondientes al mes de julio de 1994, fueron extremadamente calurosas.

El análisis conjunto de los parámetros colorimétricos, tanto en la recolección como en la fecha previa, pone de manifiesto que los dos tipos de riego refrescante modificaron los valores de los parámetros colorimétricos con respecto al testigo; en base a los cuales, fué el riego al anochecer el que proporcionó de una forma global la mejora más significativa del color.

El hecho de tratarse de una variedad bicolor, lleva implícito que las diferencias de color entre caras sean importantes. Para evaluar dicho aspecto, en la *Figura 1-52*, se ha representado la evolución de a*/b*, parámetro bien relacionado con la apreciación visual del color, correspondiente a la cara roja y a la cara verde, para los años 1993 y 1994, y para los

diferentes tratamientos. En la cara roja, los valores de a^*/b^* en el momento de la recolección, no diferieron entre el testigo y el riego al mediodía, siendo superiores para el riego al anochecer. Considerando la cara verde, se obtuvieron los mismos resultados para 1993, mientras que para 1994, no existieron diferencias entre tratamientos.

Para la cara roja, los mayores valores de a^*/b^* correspondieron a 1994, mientras que para la cara verde se dieron en 1993.

Los valores de la cara roja fueron superiores, entre 2 y 10 veces, con respecto a la cara verde, y pone de manifiesto la poca uniformidad de la distribución del color en el fruto. De ello se deduce, que la coloración de los frutos dependió del factor cara, y se vió favorecida por la exposición de los frutos a la luz. En variedades '*Red Delicious*' de buena coloración ('*Early Red One*', '*Oregón Spur*', etc.), los parámetros colorimétricos han presentado pocas diferencias entre caras (*Figura 1-26*), mientras que en las de menor color ('*Starking Delicious*', '*Topred Delicious*'), el comportamiento ha sido similar al expuesto para '*Mondial Gala*'.

Para todos los parámetros colorimétricos objeto de estudio, y al igual que ocurrió con variedades '*Red Delicious*', se produjo un incremento progresivo (a^* , a^*/b^*) o una disminución (L^* , Tono), desde la primera fecha de muestreo; y una evolución diferencial entre riegos y el testigo. En variedades '*Red Delicious*' dicho incremento fué especialmente importante a partir de mediados de agosto. Ello indica, que es en las últimas fases de desarrollo del fruto, cuando tiene lugar la coloración de los frutos.

Figura 1-52

En base a los resultados obtenidos durante los años 1993 y 1994, para los parámetros colorimétricos: L^* , a^* , a^*/b^* y Tono, puede concluirse, que tanto en la recolección como en la fecha previa, los dos tipos de riego refrescante modificaron los valores de los parámetros colorimétricos con respecto al testigo; especialmente en 1994. Fué el riego al anochecer el que proporcionó de una forma global la mejora más significativa del color, que se tradujo en una mayor precocidad del mismo. Las diferencias de color entre caras fueron importantes los dos años, mientras que entre años existieron pocas diferencias. La evolución del parámetro a^* fue similar a la de a^*/b^* , indicando por tanto una mayor coloración de los frutos refrescados. Sin embargo, en experiencias realizadas por Singha et al. (1991a,b; 1994), los mayores valores de a^* correspondieron a variedades de menor color; siendo a^*/b^* el parámetro que mejor se relacionó con la apreciación visual del color, y con el contenido de antocianos del fruto.

Los resultados expuestos, son similares a los obtenidos en experiencias realizadas por otros autores en variedades de recolección a final de agosto, donde el riego refrescante aplicado al mediodía mejoró el color, al igual que el aplicado a la puesta del sol (Proebsting et al., 1984; Mayles, 1989; Evans, 1993a); mejora que fué atribuida a la disminución de las temperaturas provocada por el riego refrescante. El hecho de que el riego al mediodía haya proporcionado un incremento de color inferior al riego al anochecer, puede deberse a que en el momento de aplicación del riego se dieron temperaturas elevadas (final de julio-principios de agosto); por lo que la temperatura del fruto, una vez finalizado el riego volvió a ascender rápidamente; mientras que el riego al anochecer, produjo una disminución menor de temperaturas pero de mayor duración.

3.5.- Efecto del riego por aspersión en el contenido de antocianos del fruto

El contenido de antocianos se determinó, al igual que los parámetros colorimétricos, para las diferentes fechas en que se realizaron los controles y para las dos caras del fruto (*Cuadro 36*, ver *tabla 1-35*). Los coeficientes de variación fueron más elevados que los

obtenidos para los parámetros colorimétricos, oscilando entre el 17 y el 41%, siendo mayores para 1994, para las primeras fechas de muestreo y para la cara verde.

Año/Riego	21/julio			30/julio			-			9/agosto (recolección)		
	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
1993												
<i>Noche</i>	2,7 ⁺ a	4,2 ⁺⁺ a	1,1 ⁺⁺ a	7,8 ⁺ a	12,1 ⁺⁺ a	3,0 ⁺⁺ a	-	-	-	10,4 ^a	15 ⁺⁺ a	5,2 ⁺⁺ a
<i>Mediodía</i>	2,6 a	3,9 a	1,3 a	4,8 b	7,6 b	1,9 a	-	-	-	8,5 b	12,8 b	4,1 a
<i>Testigo</i>	3,2 a	4,9 a	1,5 a	5,2 b	8,4 b	2,1 a	-	-	-	8,1 b	11,9 b	4,3 a
1994												
	14/julio			25/julio			2/agosto			6/agosto (recolección)		
<i>Noche</i>	0,89 a	1,1 a	0,68 a	5,1 a	7,7 a	2,6 a	8,6 ⁺ a	13,4 ⁺⁺ a	35 ⁺⁺ a	9,3 a	14,4 a	4,1 a
<i>Mediodía</i>	0,61 a	0,78 a	0,90 a	4,2 a	6,4 b	2,0 a	6,9 b	11,1 ab	2,8 a	7,4 b	11,9 ab	2,9 a
<i>Testigo</i>	0,84 a	0,88 a	0,80 a	3,9 a	5,6 b	2,3 a	6,1 b	9,0 b	3,1 a	6,4 b	9,4 b	3,3 a

Cuadro 36: Valores medios y separación de medias de los contenidos de antocianos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo y en la recolección. Variedad 'Mondial Gala', bajo dos estrategias de riego refrescante, años 1993 y 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

(⁺)Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(⁺⁺)Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(^o)Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(^{**})Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En la recolección del año 1993, y considerando tanto el fruto entero como la cara roja, el riego al anochecer proporcionó un mayor contenido de antocianos que el riego al mediodía y el testigo; para la cara verde, no se dieron diferencias entre tratamientos. En el año 1994, se añadió una fecha de muestreo; en la recolección, el riego al anochecer proporcionó valores superiores al testigo y no diferentes del riego al mediodía, no existiendo diferencias entre tratamientos para la cara verde.

Teniendo en cuenta la cara roja y el fruto entero, en la fecha previa a la recolección (25 de agosto de 1993), el riego al anochecer incrementó el contenido de antocianos con respecto al de mediodía y al testigo, no existiendo diferencias entre tratamientos para la cara verde. En 1994 (2 de agosto), para la cara roja, los mayores contenidos correspondieron a los riegos al anochecer y al mediodía, no existiendo diferencias entre el riego al mediodía y el testigo, y sí entre éste y el riego al anochecer. Considerando la cara verde, no se dieron diferencias entre tratamientos, como tampoco las hubo en la segunda fecha (25 de julio).

Para ilustrar las diferencias de color entre las dos caras del fruto, en la *Figura 1-53*, se ha representado la evolución en el tiempo del contenido de antocianos de la cara roja y de la cara verde, para las diferentes fechas de muestreo y para los años 1993 y 1994; puede observarse que los correspondientes a la cara roja son superiores, entre 3 y 4 veces, con respecto a los de la cara verde, existiendo significación para el factor cara en todas las fechas, a excepción del 14 de julio de 1994.

Resultados similares se han obtenido con los parámetros colorimétricos L*, a*, a*/b* y Tono. Al tratarse de una variedad bicolor, la distribución del color depende en gran medida de la cara, siendo por tanto favorecido por la luz, lo que pone de manifiesto que la síntesis de antocianos en esta variedad es fotodependiente. Este hecho, ha sido también expuesto por otros autores (Proctor et al., 1976; Mancinelli, 1985). Arakawa et al. (1986) y Arakawa (1988b), que señalaron que la respuesta a la luz y la capacidad de coloración, dependía además de otros factores como la temperatura, de la variedad.

Figura 1-53

Al igual que en 1993, en 1994, el incremento de los contenidos de antocianos y las evoluciones diferenciales entre tratamientos, se produjeron gradualmente desde la primera o

segunda fecha de muestreo, es decir unos 15 días antes de la recolección, dado que la síntesis de antocianos y el desarrollo del color tiene lugar mayoritariamente en dicho período. Modificaciones de la temperatura provocadas en dicho período por efecto del riego refrescante, influyen positivamente en la coloración de los frutos, tanto en la recolección como en las fechas previas. Es por ello, que las estrategias de riego que proporcionaron mayor color en la recolección, también lo adquirieron más precozmente, lo que se traduce en una anticipación del color, puesta de manifiesto, por la evolución de los parámetros colorimétricos. Resultados similares se obtuvieron respecto a la precocidad de la coloración en variedades '*Red Delicious*' por Singha et al. (1994).

Los resultados expuestos para los años 1993 y 1994, indican que la coloración de los frutos, tanto en la recolección como en la fecha previa, se incrementó por la aplicación de los riegos refrescantes. Esta mejora del color, se ha puesto de manifiesto por los contenidos de antocianos y por los valores de los parámetros colorimétricos. Fué el riego al anochecer, el que proporcionó de una forma global, la mejora más significativa del color, que se tradujo en una mayor precocidad del mismo. Las diferencias de color entre caras fueron significativas los dos años, mientras que entre años existieron pocas diferencias, como se expone en los apartados siguientes.

Los resultados expuestos, son concordantes a los obtenidos en experiencias realizadas en el sur de Francia con la variedad '*Mondial Gala*', en las cuales se aplicó el riego refrescante al mediodía o al anochecer, obteniéndose un incremento del color con respecto al testigo (Bru, 1995). En la variedad bicolor '*Fuji*', de recolección tardía, el riego refrescante aplicado de forma cíclica en el momento de las máximas temperaturas incrementó la coloración de los frutos (Andrews, 1995), aunque en menor medida que en variedades '*Red Delicious*' (Robinson, 1995). Con estas variedades y según han expuesto otros autores (Recasens et al., 1981; 1984; 1988; Proebsting et al., 1984; Mayles, 1989; Willet, 1989; Evans, 1993a; Williams, 1993; Warner, 1995b), se obtuvo una mejora sustancial del color por la aplicación del riego refrescante por aspersión a diferentes horas del día.

3.6.- Significación de factores principales y de sus interacciones

Mediante el análisis de la varianza, se calculó la significación de factores principales y de sus interacciones. El efecto del factor riego en el color de los frutos se ha analizado en los apartados anteriores; sin embargo, otros factores y sus interacciones son de interés agronómico, dado que aportan información acerca la uniformidad del color en los frutos, entre árboles y como pueden éstos verse afectados por el riego. Es por ello, que en la metodología de muestreo se incluyeron factores como la cara, el árbol y el fruto, entre otros. En el [Cuadro 37 \(tabla 1-36\)](#), se han indicado para el contenido de antocianos, L*, a*/b*, Tono y DE*, la significación de los factores riego, árbol, fruto y cara, y algunas de sus interacciones en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994. Dichas interacciones, se calcularon para todas las fechas de muestreo, obteniendo resultados similares en la segunda fecha de muestreo y en la recolección. Conocer la significación de dichos factores y la de sus interacciones, permite obtener información acerca de la distribución del color tanto en las caras, como en los frutos y en el conjunto del árbol; y como ésta se vió afectada por el riego refrescante.

Factor	1993					1994				
	Anto.	L*	a*/b*	Tono	DE*	Anto.	L*	a*/b*	Tono	DE*
ARBOL x RIEGO	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	**	*
AR.x RIEGO x FRUTO	**	*	**	**	**	*	**	**	*	ns
CARA	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
RIEGO x CARA	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	*

Cuadro 37: Significación de algunos factores y/o de sus interacciones, para el contenido de antocianos, L*, a*/b* y Tono, de la variedad 'Mondial Gala' bajo dos estrategias de riego refrescante por aspersión, en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994. Se indica el nivel de significación de cada factor y/o de sus interacciones.

Anto.: Contenido de antocianos.

ns: no significativo.

(*), (**): nivel de significación =0,05 y =0,01; respectivamente.

Los resultados obtenidos para 1993 y 1994 han sido similares. Para la mayoría de parámetros, la interacción doble *árbol x riego* (factores jerarquizados) no fué significativa, especialmente en 1993 que fué el año de mejor coloración, lo que indica que los árboles correspondientes a un mismo tratamiento no presentaron diferencias en dichos parámetros. La interacción triple *árbol x riego x fruto*, fué en general significativa, lo que indica, que para los diferentes árboles sometidos a un mismo riego, se dieron diferencias entre frutos. Ello pone de manifiesto, la poca uniformidad del color en el conjunto del árbol, aspecto observado también visualmente; y obliga a realizar varias pasadas de recolección para su homogeneización. A medida que avanza la edad de los árboles, la irregularidad del color es aún más manifiesta, debido a la poca estabilidad de algunos de los mutantes del grupo 'Gala', y a las reversiones observadas, que pueden afectar a árboles enteros, ramas o frutos; aspecto éste puesto en evidencia por otros autores (Walsh et al., 1991; Kappel et al., 1992; Buscaroli, 1995).

El factor cara, fué altamente significativo para todos los parámetros, por lo que existieron diferencias de color entre las dos caras del fruto, lo cual es lógico en variedades bicolors o en variedades de coloración deficiente. Este hecho, se había puesto ya en evidencia, al realizar el análisis del fruto por caras los años 1993 y 1994 (*Figuras 1-52 y 1-53*). La interacción *riego x cara*, no fué significativa para la mayoría de parámetros e indica que el riego no afectó de forma diferente a la coloración de las dos caras del fruto.

En base a los resultados expuestos, puede concluirse, que existieron diferencias de color entre las dos caras del fruto y entre los frutos de un mismo árbol, lo que implicó poca regularidad en su distribución. Sin embargo, no se dieron diferencias importantes de color entre los diferentes árboles de un mismo tratamiento, especialmente en 1993.

En el apartado siguiente se ha analizado la significación de los factores riego y año con el factor fecha, debido a su influencia en el color de los frutos.

3.7.- Análisis conjunto años 1993 y 1994. Influencia de los factores riego y año

3.7.1. -Parámetros colorimétricos

En experiencias sobre coloración de los frutos, es de interés comparar de forma conjunta los resultados obtenidos durante los años del ensayo, tanto del efecto del factor riego como del factor año en los parámetros colorimétricos. Para evaluar el efecto del tiempo, en el análisis de la varianza se introdujo el factor fecha y se calculó para el período 1993-1994, la

interacción de los factores *fecha x riego*, tanto para los parámetros colorimétricos L*, a*, a*/b*, Tono y DE*, como para el contenido de antocianos; considerándose las tres fechas de muestreo comunes a 1993 y 1994 (*Cuadro 38. tabla 1-37*).

Los valores medios de los parámetros colorimétricos, no presentaron diferencias entre riegos para la primera fecha de muestreo; en la segunda fecha, hubo diferencias entre el riego al anochecer y el resto de tratamientos para a*/b* y Tono, lo que indica una mayor precocidad de coloración; mientras que en la recolección, para la mayoría de parámetros fue también el riego al anochecer el que proporcionó una mayor coloración, correspondiendo el menor valor de L* al riego al anochecer.

Se calcularon también, las principales interacciones entre factores principales y que son interés agronómico, concretamente la interacción de los factores *fecha x riego*, la cual fue significativa para el parámetro a*/b* (*Cuadro 38 de la tabla 1-37*), lo que indica que su evolución a lo largo del tiempo, se vio afectada por el sistema de riego.

Parámetro	Riego	DETERMINACIONES (FECHAS)			Interacción FECHA x RIEGO
		1 : Primera	2: Segunda	3 Recolección	
L*	Noche	70,2 a	70,8 a	62,7 b	ns
	Mediodía	70,7 a	75,4 a	68,7 a	
	Testigo	71,5 a	69,9 a	67,4 ab	
a*/b*	Noche	-0,15 a	0,35 a	1,1 a	*
	Mediodía	-0,11 a	0,04 b	0,40 b	
	Testigo	-0,19 a	0,12 b	0,32 b	
Tono	Noche	123,9 a	77,2 b	56,7 b	ns
	Mediodía	136,6 a	107,9 a	76,2 a	
	Testigo	133,5 a	102,5 a	70,0 a	
DE*	Noche	82,1 a	84,3 a	75,7 b	ns
	Mediodía	83,7 a	86,9 a	79,9 a	
	Testigo	82,7 a	82,3 a	78,6 a	

Cuadro 38: Valores de los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de los años 1993 y 1994 para los diferentes tratamientos, y significación de la interacción *fecha x riego*, variedad 'Mondial Gala'. Tratamientos con la misma letra en las columnas, no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0,05$). ns: no significativo. (*): nivel de significación $\alpha=0,01$.

Debido al importante el efecto de las temperaturas en la síntesis de antocianos, y teniendo en cuenta que se produjeron variaciones entre años, es de interés conocer el efecto del factor año en la coloración de los frutos. En las experiencias realizadas durante los años 1993 y 1994, se dieron diferencias en las temperaturas, siendo 1993 un año con temperaturas mínimas inferiores a las de 1994 (*Figura 1-48*). En 1994, al igual que ocurrió en el período previo a la recolección de las variedades 'Red Delicious', las condiciones climáticas fueron las propias de un año más caluroso de lo habitual.

Se calcularon los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de los dos sistemas de riego, para los años 1993 y 1994, y para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. En el momento de la recolección, el menor valor de L* correspondió a 1994, no existiendo diferencias entre años en la primera y segunda fecha. Para el parámetro a*, existieron diferencias en la primera fecha. Para a*/b*, solamente existieron diferencias entre años en la primera fecha de muestreo, siendo superiores los valores correspondientes a 1993. El menor valor del Tono, tanto en la primera como en la segunda

fecha, correspondió a 1993, no existiendo diferencias en el momento de la recolección. La interacción de los factores *fecha x año* únicamente fué significativa para a^*/b^* .

Lo anteriormente expuesto, indica que se dieron diferencias entre tratamientos, siendo el riego al anochecer el que proporcionó un mayor incremento del color. Comparando los años, la mayoría de parámetros indican una mayor coloración en 1993; a pesar de ello, el factor año no afectó de forma significativa a la coloración, siendo el incremento a lo largo del tiempo, similar para los dos años

[Figura 1-54](#)

[Figura 1-55](#)

[Figura 1-56](#)

3.7.2. -Contenido de antocianos

Como resultado global de la experiencia, y al igual que con los valores colorimétricos, interesa comparar de forma conjunta los resultados obtenidos durante los dos años del ensayo y evaluar el efecto de los factores riego y año en el contenido de antocianos. Es por ello, que se calculó la concentración de antocianos correspondiente a la media de los años 1992 y 1993, para los diferentes tratamientos, y la media entre tratamientos para los años 1993 y 1994. La evolución de dichos parámetros se ha representado en la *Figura 1-57*, donde también se ha indicado la significación de las interacciones *fecha x riego* y *fecha x año*.

[Figura 1-57](#)

La interacción *fecha x riego* fué significativa, lo que indica que el contenido de antocianos para las distintas fechas se vió influenciado por el sistema de riego. Considerando la media de tratamientos, la concentración de antocianos para las diferentes fechas no se vió influenciada de forma significativa por el año, al no ser significativa la interacción *fecha x año*, lo que indica que la evolución de antocianos en el tiempo no dependió del año.

Si se analiza el efecto del riego, puede observarse que en la recolección, el riego al anochecer proporcionó los valores más elevados del contenido de antocianos, siendo superiores al resto de tratamientos, no existiendo diferencias entre el testigo y el riego al mediodía. En la fecha previa a la recolección, no hubo diferencias entre tratamientos. Teniendo en cuenta el factor año, y considerando la media de tratamientos, solamente en la primera fecha de muestreo existieron diferencias entre años, correspondiendo el mayor contenido de antocianos al año 1993. Dichos resultados, son similares a los obtenidos con los parámetros colorimétricos.

Puede por tanto concluirse, que las modificaciones de temperatura, debidas al riego refrescante han influido significativamente en la síntesis de antocianos y por tanto en el color de los frutos. Diversos autores han señalado la importancia de las temperaturas en la coloración de los frutos, especialmente en el período previo a la recolección de variedades '*Red Delicious*' (Tan, 1979; 1980; Faragher et al., 1984; Williams, 1989; Williams et al., 1989; Saure, 1990; Williams, 1993). Una respuesta similar se ha obtenido con la variedad '*Mondial Gala*' en la presente experiencia, siendo los resultados similares a los expuestos por Unrath (1972a,b), Evans (1993a) y Bru (1995). Con respecto al factor año, los resultados difieren de los obtenidos en la presente Tesis con variedades '*Red Delicious*', en las cuales la coloración se vió influenciada por el año. Ello pudo deberse a que las temperaturas mínimas de 1993 y 1994, no diferieron considerablemente en el período previo a la recolección de la variedad '*Mondial Gala*', de recolección estival, expuesta habitualmente a temperaturas más elevadas y con menores variaciones entre años.

3.8.- Efecto del riego refrescante en los porcentajes acumulados de cosecha

Como se acaba de exponer, el riego refrescante supuso una mejora del color en el momento de la recolección y también en el muestreo realizado previamente, lo que indica una mayor precocidad en la adquisición de color.

Diversos autores han considerado que la coloración de los frutos estaba relacionada con la maduración (Knee, 1972; Chalmers et al., 1973; Faragher, 1983; Faragher et al., 1984; Lichou et al., 1990; Saure, 1990; Lancaster, 1992), por lo que si el color se anticipa por el efecto del riego refrescante, podría anticiparse la recolección. Este aspecto es notable interés en las variedades de verano del grupo 'Gala', dado que la precocidad en la recolección, determina en gran medida su valor comercial. Es por ello, que las primeras pasadas de recolección suelen alcanzar precios superiores en una media de 20 pta/kg, con respecto a segundas o terceras pasadas.

Para evaluar la mejora anticipada del color, en la parcela del ensayo y en árboles diferentes a los de muestreo para la determinación del color; se realizó la recolección en tres pasadas. La primera y segunda pasada se realizaron 12 y 6 días, respectivamente, antes de la fecha de recolección, determinada ésta en base a los parámetros de calidad de los frutos. Los criterios tenidos en consideración para realizar la recolección, fueron los mismos que en la parcela comercial (calibre > 70 mm, color > 70%), realizándose también la recolección por los mismos operarios. Para evaluar el efecto del riego en la mejora anticipada del color, se calculó el porcentaje de fruta recolectada en cada pasada con respecto a la producción total. Los resultados obtenidos para los años 1993 y 1994, se exponen en la *Figura 1-58*

[Figura 1-58](#)

En 1993, el mayor porcentaje de frutos recolectados en la primera pasada correspondió al riego al anochecer, seguido por el riego al mediodía y el testigo. En la segunda pasada, no existieron diferencias entre el anochecer y el testigo, y tampoco entre éste y el riego al mediodía. Los mayores porcentajes acumulados, considerando la primera y segunda pasada, se obtuvieron con el riego al anochecer (43%), seguido por el riego al mediodía (29%) y finalmente por el testigo (26%). En la tercera y última pasada, el menor porcentaje correspondió al riego al anochecer, no existiendo diferencias entre el testigo y el riego al mediodía. En 1994 no hubo diferencias entre riegos en la primera pasada, pero sí entre éstos y el testigo, mientras que en la segunda los mayores porcentajes se obtuvieron con el riego al anochecer. Al finalizar la segunda pasada, los porcentajes de producción acumulados fueron: riego al anochecer (40%), riego al amanecer (30%) y testigo (18%). En la recolección, los menores porcentajes correspondieron al riego al anochecer, seguido por el riego al mediodía y por el testigo.

Las diferencias entre el riego al anochecer y el testigo, en los porcentajes de cosecha acumulados al finalizar la segunda pasada, fueron del 17 y del 22%, para 1993 y 1994, respectivamente. El mayor porcentaje correspondió a 1994, lo que indica que en años de menor coloración, el riego refrescante produjo un mayor incremento de la cosecha recolectada en las primeras pasadas. En experiencias realizadas por Unrath (1972a,b) con la variedad 'Red Delicious', se realizaron, desde tres semanas antes de la recolección, recolecciones con una periodicidad semanal, obteniendo una diferencia acumulada en la segunda pasada entre el riego refrescante por aspersión y el testigo del 31%.

Puede por tanto, concluirse, que el riego refrescante, especialmente el aplicado al anochecer, incrementó el porcentaje de cosecha recolectado en la primera pasada y el acumulado en la segunda pasada, lo que implica una mayor precocidad en la coloración de los frutos. Este hecho ha sido puesto también de manifiesto, en el análisis de los parámetros colorimétricos y del contenido de antocianos. Complementariamente, y para el año 1994, se determinó de forma visual el color de los frutos, como porcentaje de la superficie del fruto

con presencia de color (*Figura 1-59*).

[Figura 1-59](#)

La evolución de los porcentajes de superficie coloreada, fueron similares a las del contenido de antocianos y del parámetro a^*/b^* (*Figuras 1-52* y *1-53*), produciéndose un mayor incremento a partir de la segunda fecha de muestreo (25 de julio). El porcentaje medio de color de los frutos en la recolección osciló entre el 50% y el 66%. Tanto en la recolección como en la fecha previa, no existieron diferencias entre el riego al anochecer y el riego al mediodía, y sí entre el testigo y el riego al anochecer, correspondiendo los mayores porcentajes al riego al anochecer.

Se calculó la relación entre los porcentajes unitarios de superficie coloreada con los correspondientes contenidos de antocianos, estableciendo diferentes modelos de regresión simple. El mejor valor del coeficiente de determinación fué de 0,57, y se obtuvo para un ajuste exponencial, siendo la regresión significativa. Cuando el porcentaje de apreciación visual del color, se relacionó con las variables colorimétricas, el mejor ajuste se obtuvo para a^*/b^* y Tono, oscilando R^2 entre 0,52 y 0,63 (modelos exponenciales); mientras que el peor se obtuvo con b^* y Saturación. Resultados análogos, han sido obtenidos por otros autores en variedades '*Red Delicious*' (Singha et al., 1991a,b).

3.9.- Efecto de las condiciones ambientales en la síntesis de antocianos

Al tratarse de una variedad de verano las temperaturas presentaron menor variación que en el período previo a la recolección de las variedades '*Red Delicious*', por lo que el factor año tuvo menor influencia en la coloración de los frutos. Sin embargo, considerando de forma global los diferentes parámetros evaluados la mayor coloración correspondió a 1993. En el período 20 de julio-recolección, las temperaturas mínimas correspondientes a 1993 fueron inferiores a las de 1994 ([Figura 1-48](#)), y fué cuando se produjo un mayor incremento del contenido de antocianos (*Figura 1-60*); incremento menos importante que en las variedades '*Red Delicious*'. Las diferencias entre temperaturas máximas y mínimas diarias en dicho período (salto térmico) fueron similares, por lo que habrían tenido poca influencia en el color.

Para ilustrar la influencia de las temperaturas en la síntesis de antocianos, se ha representado gráficamente la evolución de las temperaturas mínimas con sus correspondientes contenidos de antocianos (del testigo), en cuatro fechas, correspondientes al período 14 de julio-9 de agosto de los años 1993 y 1994 (*Figura 1-60*).

[Figura 1-60](#)

Al igual que ocurrió con variedades '*Red Delicious*', temperaturas mínimas más bajas, estuvieron relacionadas con mayores contenidos de antocianos. Además del efecto del factor año en los contenidos de antocianos; la disminución de las temperaturas, debido a la aplicación del riego refrescante, tendría un efecto similar al originado por las variaciones estacionales de temperaturas entre años. Todo ello indica una estrecha dependencia, entre la síntesis de antocianos y la evolución del color, con las temperaturas (Chalmers et al., 1973; Tan, 1979; Williams et al., 1989; Williams, 1993). Este hecho, ha sido puesto también en evidencia con las variedades del grupo '*Gala*', las cuales manifiestan importantes incrementos de color por el efecto de una tormenta, ocurrida en los días previos a la recolección, al provocar una disminución de las temperaturas e incrementar el porcentaje de radiación UV (Proctor, 1974, Clerinx, 1983; Mayles, 1989).

3.10.- Relación entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos del fruto

En las experiencias, se determinó para cada uno de los frutos de las diferentes muestras,

tanto los valores de cromaticidad como sus correspondientes contenidos de antocianos, con el objeto de establecer las relaciones entre ambas variables. Numerosos autores han determinado en variedades '*Red Delicious*', la relación entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos o la apreciación visual del color de los frutos; sin embargo, en variedades del grupo '*Gala*', no se dispone de referencias acerca de dicha relación, aunque por las características de su coloración (estriada), es de esperar que su comportamiento sea similar a '*Topred Delicious*' o '*Starking Delicious*'. Uno de los objetivos del presente trabajo ha sido conocer dichas relaciones, mediante un análisis de regresión.

El análisis de regresión entre las variables de colorimétricas y el contenido de antocianos, se realizó únicamente en la recolección de los años 1993 y 1994, para el fruto entero y para las dos caras. Algunos de los modelos de regresión lineal múltiple obtenidos, figuran en el [Cuadro 39](#) (tabla I-38), siendo todos los modelos altamente significativos (**: a=0,01).

Período/cara	Ecuación del modelo de regresión [Intervalo de confianza] *	R ²
1993+1994	$y = 9,05 - 0,20 a^* - 0,10 b^* + 10,3 (a^*/b^*)$	0,44 **
	$a^* = [-0,10 \quad -0,30]; b^* = [-0,04 \quad -0,16]; a^*/b^* = [13,2 \quad 7,4]$	
1993	$y = 16,1 - 0,48 L^* + 3,4 (a^*/b^*) + 0,33 Sat. - 0,69 DE^*$	0,49**
	$L^* = [0,84 \quad 0,12]; a^*/b^* = [3,6 \quad 2,3]; Sat. = [0,55 \quad 0,11]; DE^* = [-0,27 \quad -1,1]$	
1994	$y = 23,7 - 0,28 L^* - 0,23 a^* + 23,4 a^*/b^*$	0,52**
	$L^* = [-0,14 \quad -0,42]; a^* = [-0,09 \quad -0,37]; a^*/b^* = [17,7 \quad 4,3]$	
Cara roja	$y = 14,9 - 2,1L^* - 1,1 Sat. + 2,3 DE^*$	0,41**
	$L^* = [-1,4 \quad -2,8]; Sat. = [-0,62 \quad -1,6]; DE^* = [3,1 \quad 1,5]$	
Cara verde	$y = 11,3 + 0,03^{a^*} - 0,08 DE^*$	0,30**
	$a^* = [0,046 \quad 0,01]; b^* = [-0,054 \quad -0,12]$	

Cuadro 39: Modelos de regresión lineal múltiple, intervalos de confianza de las variables coeficientes de determinación (R²) y significación de diferentes modelos de regresión lineal múltiple entre el contenido de antocianos y los colorimétricos de la variedad '*Mondial Gala*', en el momento de la recolección de los años de 1993 y 1994.

(y): contenido de antocianos.

(*): nivel de significación = 0,05.

(**): nivel de significación = 0,01.

El coeficiente de determinación (R²), para 1993+1994 conjuntamente, fué de 0,44; mientras que si se considera únicamente 1993, fué de 0,49, y de 0,52 para 1994; siendo por tanto superior en 1994, lo que también ocurrió con la variedad '*Starking Delicious*', mientras que con variedades de mayor coloración como '*Oregón Spur*' o '*Early Red One*', los mayores valores se obtuvieron en 1993, que fué el año de mejor coloración. El valor de R² correspondiente a la cara más roja del fruto, presentó una mejor relación con el contenido de antocianos que la cara verde, contrariamente ocurrió con las variedades '*Starking Delicious*' y '*Topred Delicious*'.

Los valores de R² obtenidos para la totalidad del fruto, por años o por caras, indican una predicción medianamente aceptable de los contenidos de antocianos en base a los parámetros colorimétricos. Es importante destacar, que en todos los modelos de regresión

lineal múltiple, a excepción del correspondiente a la cara verde, aparece el ratio a^*/b^* que en numerosos estudios se considera que está bien relacionado con la percepción visual del color (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1991a,b; Baugher et al., 1995).

Como complemento a las regresiones lineales múltiples, se realizó un análisis de regresión simple entre los parámetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , Tono, Saturación y DE^*) y el contenido de antocianos, buscando los modelos que proporcionaran el mejor ajuste, considerando de forma conjunta y de forma separada los años 1993 y 1994, para el fruto entero y por caras. En la *Figura 1-61*, se han representado las regresiones que proporcionaron un mejor ajuste, para valores conjuntos de 1993 y 1994, y que fueron significativas (α 0,05); indicando en cada caso la ecuación de ajuste y el coeficiente de determinación.

Figura 1-61

Se obtuvieron valores de R^2 entre 0,47 y 0,59; similares por tanto a los expuestos para las regresiones múltiples. Las ecuaciones de ajuste fueron de tipo polinómico para L^* , a^* y a^*/b^* , y logarítmico para el Tono. Los valores obtenidos para b^* y DE^* , fueron 0,31 y 0,37, respectivamente. Las regresiones simples correspondientes a 1994 proporcionaron, para todos los parámetros colorimétricos, valores de R^2 superiores a los de 1993, siendo para este año los más altos: $L^* = 0,34$; $a^* = 0,46$; $a^*/b^* = 0,44$; Tono = 0,48; mientras que para 1993 fueron: $L^* = 0,71$; $a^* = 0,67$; $a^*/b^* = 0,65$; Tono = 0,64 y $DE^* = 0,40$.

Considerando separadamente 1993 y 1994, tanto en el fruto entero como por caras, los valores correspondientes a la cara roja, fueron superiores a los de la cara verde. Si se tiene en cuenta de forma conjunta los dos años, se obtuvieron mejores ajustes para la cara roja que para la cara verde, al igual que ocurrió con las regresiones lineales múltiples. De forma general, los parámetros colorimétricos b^* y Saturación, fueron los que peor se relacionaron con el contenido de antocianos, mientras que para a^* se obtuvieron valores inferiores a a^*/b^* y al Tono. Las mejores ecuaciones de ajuste correspondieron, generalmente, a los tipos polinómico y potencial y en menores ocasiones a exponencial y logarítmico.

El análisis de regresión realizado, pone de manifiesto que en variedades bicolors y concretamente en '*Mondial Gala*', la medición del color con un colorímetro no se aproxima de una forma óptima a la apreciación visual del mismo, debido probablemente a la coloración parcialmente estriada de los frutos. Consecuentemente, la predicción del contenido de antocianos en base a los parámetros colorimétricos, es menos fiable que en variedades de coloración uniforme, debido al porcentaje de variabilidad ($< 60\%$) explicado por los modelos de regresión. Análogamente ha ocurrido en las experiencias realizadas con la variedad '*Starking Delicious*', de coloración estriada. Si embargo, el elevado número de valores utilizados en las regresiones, así como la significación de las mismas, indica una mayor validación de la hipótesis de significación (Baugher et al., 1995). Los valores de R^2 obtenidos, no difieren considerablemente de los expuestos por otros autores para variedades '*Red Delicious*' (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1991b;1994; Graell et al., 1993); aunque son inferiores a los obtenidos en la presente Tesis con las variedades '*Early Red One*', '*Oregón Spur*', '*Red Chief*' y '*Topred Delicious*', dado que frecuentemente fueron superiores a 0,70.

3.11.- Influencia del riego refrescante en los parámetros de calidad del fruto

Además del color, otros parámetros de calidad como: la firmeza, el contenido de sólidos solubles, la acidez, la relación sólidos solubles/acidez, y el calibre del fruto, son determinantes para la valoración final de los frutos y pueden verse afectados por el riego refrescante. Dichos parámetros, se determinaron en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994; los resultados se exponen en el Cuadro 40 (tabla 1-39).

Tanto el peso como el calibre de los frutos no presentaron diferencias en 1993, mientras que en 1994 no hubo diferencias entre riegos, y sí entre el riego al anochecer y el testigo, correspondiendo los mayores valores al riego al anochecer. Los valores obtenidos, evidencian que se trata de una variedad de calibre pequeño, en comparación con las del grupo '*Red Delicious*', que habitualmente sobrepasaron los 200 g por fruto y los 80 mm de calibre. Con respecto a la firmeza de la pulpa, en 1993 no se dieron diferencias entre el riego al anochecer y al mediodía, mientras que en 1994 los mayores valores correspondieron al riego al mediodía.

<i>Parámetro</i>	<i>Riego</i>	1993	1994	Interacción AÑO x RIEGO
Peso¹ (g/fruto)	<i>Noche</i>	172,5 a	169,3 ab	ns
	<i>Mediodía</i>	175,2 a	178,2 a	
	<i>Testigo</i>	170,0 a	159,1 b	
Calibre¹ (mm)	<i>Noche</i>	76,3 a	76,8 ab	ns
	<i>Mediodía</i>	77,1 a	78,9 ^a	
	<i>Testigo</i>	74,6 a	73,2 b	
Firmeza² (kg)	<i>Noche</i>	7,3 ab	7,4 b	ns
	<i>Mediodía</i>	7,6 a	7,9 a	
	<i>Testigo</i>	7,2 b	7,3 b	
Sólidos³ solubles (°Brix)	<i>Noche</i>	12,8 ab	12,5 b	**
	<i>Mediodía</i>	12,9 a	12,8 a	
	<i>Testigo</i>	12,6 b	12,1 c	
Acidez³ (gr/1)	<i>Noche</i>	3,5 c	3,7 c	**
	<i>Mediodía</i>	3,9 b	4,3 a	
	<i>Testigo</i>	4,2 a	4,1 b	
Sólidos /acidez³	<i>Noche</i>	3,6 a	3,4 a	**
	<i>Mediodía</i>	3,3 b	3,0 ab	
	<i>Testigo</i>	3,0 c	2,9 b	

Cuadro 40: Influencia de dos estrategias de riego refrescante por aspersión, en los parámetros de calidad de los frutos de la variedad 'Mondial Gala', años 1993 y 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$). Se indica la significación de la interacción *año x riego*.

- (1) Cada valor corresponde a la media de 70 determinaciones.
(2) Cada valor corresponde a la media de 140 determinaciones.
(3) Cada valor corresponde a la media de 5 determinaciones.
(ns) no significativo.
(**) nivel de significación $\alpha = 0,01$.

El contenido de sólidos solubles en 1993, fué similar entre el riego al mediodía y al anochecer, siendo el testigo inferior al riego al mediodía. En 1994, el mayor contenido correspondió al riego al mediodía, seguido por el riego al anochecer y por el testigo. Los valores obtenidos son superiores a 11° Brix (Urbina, 1990), y se encuentran dentro del rango óptimo de 12-14° Brix (Herrero et al., 1992). La mayor acidez se obtuvo con el testigo (1993), y con el riego al mediodía (1994); superando en todos los tratamientos los 3g/l, considerada como adecuada para una buena calidad gustativa (Duran, 1983; Delhom, 1986). Finalmente, la mayor relación sólidos solubles/acidez en 1993, correspondió al riego al anochecer, seguido por el riego al mediodía y por el testigo; mientras que en 1994 los mayores valores correspondieron a los riegos al anochecer y al mediodía, seguidos por el testigo. Son de destacar los resultados obtenidos con los parámetros de calidad, que

evidencian que se trata de una de las mejores variedades de verano, por su excelente calidad gustativa.

El factor año no tuvo una influencia significativa, ni en el peso del fruto, ni en el calibre, ni en la firmeza, por lo que la interacción *año x riego* no fué significativa para ninguno de dichos parámetros; y sí lo fué para los sólidos solubles, la acidez y la relación sólidos solubles/acidez, lo que indica que para estos últimos la respuesta al riego se vió influenciada por el factor año. Considerando conjuntamente los años 1993 y 1994, se dieron diferencias entre riegos en la firmeza, proporcionando el riego al mediodía valores superiores al riego al anochecer y al testigo, no existiendo diferencias significativas entre años para el resto de parámetros de calidad. En ensayos realizados por Unrath (1972b), Willet (1989) y Williams (1993), con variedades '*Red Delicious*', para el calibre, el contenido de sólidos solubles y la acidez, la respuesta al riego refrescante se vió influenciada por el año y por la localidad.

Puede concluirse, que la firmeza, el contenido de sólidos solubles y la relación sólidos solubles/acidez, se vieron mejorados por el efecto del riego refrescante aplicado al mediodía y al anochecer, respectivamente. Otros parámetros como: peso del fruto, calibre o acidez titulable, no se vieron afectados de forma significativa por el efecto del riego refrescante.

Los resultados expuestos, son coincidentes a los obtenidos en trabajos previos con variedades de manzana del grupo '*Red Delicious*', donde se aplicaba diariamente, de forma continua o cíclica, durante las horas de máximo calor. El riego redujo el estrés hídrico y los paros en el crecimiento del fruto cuando se dieron temperaturas elevadas, consecuentemente, tanto las producciones como la calidad de los frutos se incrementaba (Barbee, 1971; Recasens, 1982; Recasens et al., 1984, 1988; Lowell, 1981; Williams, 1993).

En trabajos realizados por Unrath (1972a,b) con la variedad '*Red Delicious*', el peso del fruto no se vió influenciado de forma consistente en los dos años de ensayo por el efecto del riego refrescante, presentando los frutos refrescados un mayor contenido de sólidos solubles; en los años en que el calibre se vió incrementado por el riego refrescante, la firmeza fué menor. Williams (1993) obtuvo un mayor contenido de sólidos solubles y mayor acidez, en los frutos sometidos a riego refrescante aplicado al mediodía. Sin embargo, en base a la firmeza, la madurez del fruto se retrasó entre 7 y 10 días en los frutos refrescados, resultados que no coinciden con los expuestos por otros autores. En experiencias con la variedad '*Starking Delicious*', el riego refrescante aplicado al alcanzarse las temperaturas diarias máximas incrementaron el peso del fruto, el contenido en azúcares y la acidez (Recasens, 1982; Recasens et al., 1988).

En base a las referencias disponibles y a los resultados obtenidos, parece lógico que el riego aplicado al mediodía tenga un efecto en la mejora de los principales parámetros de calidad, al reducir el estrés de la planta y proporcionar condiciones ambientales más favorables al desarrollo del fruto, especialmente en la variedad '*Mondial Gala*' de recolección estival y sometida por tanto a condiciones de elevadas temperaturas (más desfavorables que en variedades '*Red Delicious*') en el período previo a la recolección. En frutos refrescados al anochecer, no han existido en general diferencias con respecto al testigo; debido a que las condiciones ambientales de la plantación en el momento que se aplica el riego, son más adecuadas para el desarrollo del fruto (incluso en el testigo), en comparación con las que se dan a mediodía en el testigo y en el riego al anochecer.

3.12.- Conclusiones

Las experiencias realizadas con la variedad '*Mondial Gala*', durante los años 1993 y 1994, para evaluar el efecto del riego refrescante por aspersión aplicado al mediodía y al

anochece, permiten extraer las siguientes conclusiones:

La aplicación del riego refrescante al mediodía y al anochece, ocasionó modificaciones importantes, tanto en la temperatura de los frutos como en la temperatura y la humedad relativa ambiental.

Los valores de los parámetros colorimétricos L^* , a^* , a^*/b^* y Tono, se modificaron por el efecto del riego refrescante, especialmente en el aplicado al anochece, tanto en la recolección como en las fechas previas. Análogos resultados se han obtenido con el análisis de los pigmentos antocianicos.

La estrategia de riego que proporcionó una mayor coloración en la recolección originó también una mayor precocidad de la misma, lo que se tradujo en un mayor porcentaje de frutos recolectados en las primeras pasadas.

En el momento de la recolección, el factor año no influyó significativamente en los contenidos de antocianos ni en los parámetros colorimétricos.

La acumulación de antocianos y la evolución de los valores de cromaticidad fueron más importantes durante los 20 días previos a la recolección, especialmente en los frutos sometidos a riego refrescante, como lo evidencia la significación de la interacción *fecha x riego*. Fue en dicho período cuando se produjo una evolución diferencial entre los diferentes tratamientos.

La distribución del color muestra importantes diferencias entre las dos caras del fruto, especialmente en 1994, lo que indica la poca uniformidad del mismo en la variedad '*Mondial Gala*'.

En la recolección, no se puede realizar una buena predicción de los contenidos de antocianos en base a los valores de cromaticidad. Fueron los parámetros Tono, L^* y a^*/b^* los que proporcionaron el mejor ajuste.

Los parámetros de calidad del fruto se han visto en general mejorados por las dos estrategias de riego refrescante, en especial la firmeza, correspondiendo los mejores valores al riego aplicado al mediodía.

4.- VARIEDAD 'STARKING DELICIOUS' : AÑOS 1993 Y 1994

'*Starking Delicious*' es la variedad que actualmente ocupa, en la zona de Lleida, la mayor superficie dentro del grupo de las '*Red Delicious*', aunque en clara regresión por la deficiente coloración de los frutos. Es de destacar la coloración estriada del fruto y su buena calidad gustativa, siempre y cuando el momento de recolección sea el adecuado. Las fechas de inicio, plena y final de floración fueron las siguientes:

* 1993: 7 de abril, 12 de abril y 21 de abril.

* 1994: 24 de marzo, 30 de marzo y 7 de abril.

Las experiencias se realizaron durante los años 1993 y 1994 y se ha comparado el efecto de dos sistemas de riego: "manta" y "aspersión", en los siguientes aspectos: modificación de las condiciones ambientales, coloración de los frutos, actividad de la enzima fenilalanina amonioliase (PAL), y en los parámetros de calidad de los frutos.

La aplicación y características de dichos sistemas de riego se ha expuesto en el apartado Material y métodos: "*Características del riego*". Señalar que en esta experiencia el riego a manta se aplicó solamente en la parte de la parcela denominada en adelante "manta", mientras que en la denominada "aspersión", el único riego aplicado fue por aspersión, con una periodicidad aproximada de 7 días. Este sistema de riego se utilizó para el aporte de las necesidades hídricas del manzano y no con el objetivo de refrescar el ambiente. Por tanto,

este tratamiento difiere del riego refrescante por aspersión aplicado únicamente los 25-30 días antes de la recolección, con una periodicidad diaria y con el único objetivo de refrescar el ambiente (no como aporte hídrico), cuyos resultados en las variedades '*Early Red One*', '*Oregón Spur*', '*Topred Delicious*' y '*Mondial Gala*', se han expuesto en los apartados anteriores.

Al igual que en el resto de experiencias, el color se ha medido instrumentalmente con un colorímetro. Paralelamente se ha determinado el contenido de antocianos y la actividad enzimática de la fenilalanina amonioliase (PAL).

4.1.- Análisis de las condiciones climáticas de los años 1993 y 1994

En el apartado Resultados y discusión: "*2.1.-Análisis de las condiciones climáticas*", del presente capítulo, se ha realizado un análisis detallado de las condiciones ambientales acaecidas en el período previo a la recolección de las variedades del grupo '*Red Delicious*' (21 de agosto-11 de septiembre), y por tanto de '*Starking Delicious*', durante los años 1993 y 1994. El hecho más destacable, es que las temperaturas tanto máximas como mínimas, presentaron diferencias importantes entre 1993 y 1994, siendo en 1993 cuando se dieron las temperaturas mínimas diarias más bajas, lo que podría explicar la mayor coloración de los frutos con respecto a 1994, debido al efecto de las temperaturas en la síntesis de antocianos (Proctor, 1974; Tan, 1979; Saure, 1990).

4.2.- Efecto del riego por aspersión en la temperatura y en la humedad relativa ambiental

Durante el período comprendido entre el 9 de julio y la recolección de los años 1993 y 1994, se realizó un seguimiento de la temperatura y humedad relativa ambiental en la plantación, mediante termohigrógrafos colocados en cada una de las parcelas donde se aplicaron los dos sistemas de riego. Para ilustrar el efecto del riego por aspersión en la modificación de la temperatura y humedad relativa ambiental, en la *Figura 1-62*, se refleja la evolución horaria de las mismas durante los días 28, 29 y 30 de agosto de 1994. El riego por aspersión se aplicó con una periodicidad semanal, a partir de las 14:30h y durante 8 horas.

[Figura 1-62](#)

El riego por aspersión produjo una modificación sustancial de las condiciones ambientales; la temperatura máxima fue inferior a la del testigo en unos 4°C, mientras que la mínima fue también inferior (entre 2 y 4,5°C).

La humedad ambiental experimentó una modificación importante, incrementándose entre un 30 y un 45% por efecto del riego por aspersión, el cual ejerció una influencia en la temperatura y humedad ambiental hasta unas horas después de finalizar su aplicación.

Así como el riego por aspersión modificó la temperatura y la humedad relativa ambientales, el riego a manta apenas influyó en dichos parámetros. En la *Figura 1-63*, se ha representado la evolución horaria de la temperatura y de la humedad relativa ambiental, después de un riego a manta aportado el día 26 de julio de 1994 a las 20 horas, y puede observarse que no se produjo una modificación sustancial de las mismas; solamente se observó un ligero incremento de la humedad relativa después del riego a manta.

El efecto de la disminución de las temperaturas máximas alcanzadas al mediodía en el incremento de la síntesis de antocianos, se debe a que disminuye el estrés de la planta provocado por temperaturas elevadas; consecuentemente se incrementa la actividad fotosintética, disponiendo de más hidratos de carbono para la síntesis de antocianos. Sin

embargo, por el hecho de no aplicarse con una periodicidad diaria, como en el resto de experiencias de riego refrescante, puede ocasionar que el efecto en el incremento de la síntesis de antocianos no sea tan importante, como lo indican diversos trabajos realizados en condiciones climáticas difíciles a la coloración (Jones, 1973; Williams, 1989; Williams et al., 1989; Willet, 1989; Saure, 1990; Williams, 1993), donde el riego se aplicó con una periodicidad diaria y en el momento de máximas temperaturas.

Figura 1-63

Se determinó de forma periódica la temperatura de los frutos correspondientes a los dos sistemas de riego, y en el momento de finalizar la aplicación de los mismos, detectándose diferencias máximas entre tratamientos de 7,8°C. Esta diferencia, al proceder el agua de pozo, con una temperatura próxima a los 18°C, fué mayor que en las experiencias expuestas en los apartados anteriores, en las que el agua procedía de embalses, y por tanto, con una mayor temperatura (21,4-28,3°C). En experiencias realizadas con variedades '*Red Delicious*', donde se aplicó el riego de forma continua o cíclica, se provocaron descensos en la temperatura de los frutos de entre 3 y 6°C (Recasens, 1982; Proebsting et al., 1984; Williams et al., 1989; Williams, 1993; Andrews, 1995).

4.3.- Efecto del riego por aspersión en la evolución de los parámetros colorimétricos del fruto

La variedad '*Starking Delicious*' presenta una coloración irregular, observándose diferencias importantes de color entre la cara más expuesta a la iluminación y la sombreada. Además, el fruto presenta una coloración típicamente estriada, por lo que frecuentemente, determinaciones instrumentales del color mediante el colorímetro no reflejan con exactitud la naturaleza del mismo, en comparación con variedades de color uniforme. Fué por ello, que en la experiencia se pretendía conocer, además del efecto del riego refrescante en el color de los frutos, hasta que punto las determinaciones del color con un colorímetro reflejaban la naturaleza del mismo.

Se exponen a continuación, los resultados obtenidos de la determinación de los parámetros colorimétricos mediante el colorímetro triestímulo Minolta CR 200, para cada uno de los sistemas de riego. La medición del color se realizó en las dos caras del fruto, para cada fecha de muestreo y en los mismos frutos en que se determinó el contenido de antocianos. Posteriormente, y a partir de los valores de ambas caras, se calcularon los correspondientes al fruto entero. El análisis por caras permite conocer la distribución del color en el fruto, y por tanto su uniformidad; mientras que el análisis conjunto del fruto, permite tener una cuantificación global del mismo y posibilita una comparación más fácil entre sistemas de riego.

Las coordenadas colorimétricas calculadas para cada fecha y para cada cara del fruto fueron: L*, a*, b*, a*/b*, Tono, Saturación y DE*. Su interpretación desde el punto de vista de color y su cálculo se ha expuesto en el apartado Introducción: "*El color y su medida*".

Se han analizado de forma separada los años 1993 y 1994, y posteriormente ambos de forma global. De los diferentes parámetros a*, b*, a*/b* y Tono, han sido los que en el análisis de regresión han proporcionado los mejores valores de los coeficientes de determinación. Con el parámetro L* o luminosidad, se ha observado siempre una relación inversa con la coloración, dado que cuanto mayor es ésta (valores altos de a*/b* y bajos del Tono), menores son los valores de L*. Resultados análogos han sido expuestos por otros autores (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1994), al determinar el color en variedades '*Red Delicious*'.

Los coeficientes de variación correspondientes a cada parámetro y fecha, se obtuvieron

al realizar el análisis de la varianza, y oscilaron mayoritariamente entre el 2,4% y el 41%, aunque para algunos parámetros colorimétricos como a* -en determinadas fechas y años- superaron el 60%. Cuando ello ocurrió y/o la varianza no fué homogénea (vease en Material y métodos: "Tratamiento estadístico"), se calcularon las medias pero no se realizó su separación, lo cual ocurrió en algunas fechas y años con a*, a*/b* y Saturación. Comparando los años, los menores coeficientes correspondieron a 1993 que fué el año de mejor coloración. La cara verde presentó también valores más elevados que la roja. Para los diferentes parámetros los menores valores correspondieron a DE* y L*, y los mayores a a*.

*** Resultados año 1993**

Los valores medios de los parámetros colorimétricos se exponen en el [Cuadro 41](#) (tabla 1-40), donde se ha procedido a la separación de medias en cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones: 9/agosto; 26/agosto y 13/septiembre (recolección). En el mismo cuadro, se exponen los valores correspondientes al fruto entero, a la cara roja y a la cara verde.

1993	Riego	9/agosto			26/agosto			13/septie. (recolección)		
		Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*	Aspersión	96,6 [†] a	95,0 ^{††} a	98,3 ^{†††} a	88,8 [†] a	86,3 ^{††} a	91,3 ^{†††} a	71,9[†] b	65,1^{††} b	79^{†††} a
	Manta	94,4 a	92,2 a	96,7 a	90,9 a	89,1 a	92,7 a	84,9 a	82,2 a	87,6 a
a*	Aspersión	-17,6 a	-17,2 a	-18,0 a	-3,0 a	9,4 a	-15,4 a	15,9 a	30,4 a	1,5 a
	Manta	-19,2 a	-19,5 a	-18,9 a	-5,5 a	6,1 a	-17,1 a	11,9 a	23,2 a	0,60 a
b*	Aspersión	37,2 a	35,3 a	39,2 a	33,5 a	33,3 a	33,8 b	20,9 a	19,6 a	22,3 a
	Manta	37,4 a	36,1 a	38,7 a	36,1 a	35,6 a	36,6 a	22,2 a	20,5 a	23,6 a
a*/b*	Aspersión	-0,51 a	-0,45 a	-0,57 a	-0,04 a	0,28 b	-0,37 a	0,82 a	1,6 a	0,04 a
	Manta	-0,52 a	-0,55 a	-0,50 a	-0,17 a	0,13 a	-0,47 a	0,45 b	0,9 b	0,01 a
Tono (°)	Aspersión	115,5 a	114,1 a	117,0 a	81,5 a	75,2 a	87,9 a	76,9 b	33,6 b	120,2 a
	Manta	117,1 a	118,1 a	116,2 a	86,1 a	82,1 a	90,1 a	84,4 a	44,1 a	124,8 a
DE*	Aspersión	98,0 a	112,1 a	83,9 a	97,8 a	92,5 a	103,2 a	92,3 b	85,1 b	99,5 a
	Manta	100,1 a	117,2 a	83,1 a	99,1 a	94,1 a	104,1 a	99,9 a	98,3 a	101,8 a

Cuadro 41: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo y en la recolección. Variedad 'Starking Delicious' bajo dos sistemas de riego, año 1993. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

([†]) Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(^{††}) Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(^{†††}) Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(*) Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En la recolección, y teniendo en cuenta tanto la cara roja del fruto como la media de caras, se detectaron diferencias significativas para L*, a*/b*, Tono y DE*. Los mayores valores de a*, a*/b*, y los menores del Tono y DE*, indican una mayor coloración de los frutos regados por aspersión, a los cuales correspondieron los menores valores de L*. La cara verde no presentó diferencias entre tratamientos. Para un mismo riego y fecha, se dieron importantes diferencias entre caras, especialmente en L*, a*, a*/b* y Tono, lo que indica que la cara verde presentó siempre menor color que la cara roja.

En la fecha previa a la recolección (26/agosto), el mayor valor de a*/b* para la cara roja correspondió al riego por aspersión, lo que indicaría una mayor precocidad en la coloración de los frutos. Sin embargo, para el resto de parámetros no se dieron diferencias entre riegos,

como tampoco las hubo en la primera fecha de muestreo. Es por ello, que las diferencias entre riegos se produjeron en los días previos a la recolección.

*** Resultados año 1994**

En 1994 se realizaron 4 muestreos, intercalando uno adicional antes de la recolección, dado que en 1993 se observó que en los días previos a la recolección se producía un incremento importante del color. Las fechas de muestreo se adelantaron, dado que la floración se anticipó con respecto a 1993, realizándose los días: 6/agosto; 21/agosto, 29/agosto y 6/septiembre. Los valores medios de los parámetros colorimétricos correspondientes a los diferentes tratamientos y fechas, se exponen en el [Cuadro 42](#) (tabla 1-41).

1994 Pará./ Riego	6/agosto			21/agosto			29/agosto			6/septie. (recolección)		
	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*												
Aspersión	69,5 ⁺ a	66,8 ⁺⁺ a	72,3 ⁺⁺ a	61,8 ⁺ a	53,1 ⁺⁺ b	70,5 ⁺⁺ a	63,5 b +	58 ⁺⁺ b	69 ⁺⁺ a	59,5⁺ b	54⁺ b	65⁺a
Manta	69,7 a	67,4 a	72,0 a	63,5 a	57,5 a	69,6 a	66,2 a	61,6 a	70,8 a	63,3 a	59,0 a	67,6 a
a*												
Aspersión	-14,1 a	-11,2 a	-17,1 a	4,2 a	16,5 a	-8,1 a	1,8 a	11,0 a	-7,3 a	9,6 a	18,3 a	0,90 a
Manta	-13,3 a	-8,6 a	-18,1 a	0,40 a	9,9 b	-9,1 a	-3,3 a	3,1 b	-9,8 a	5,9 a	12,2 b	-0,37 a
b*												
Aspersión	37,3 a	35,2 a	39,4 a	31,9 a	27,7 a	36,0 a	30,9 a	27,5 a	34,3 a	30,5 a	27,1 b	34,0 a
Manta	37,9a	36,8 a	39,0 a	33,9 a	29,1 a	38,6 a	32,5 a	29,3 a	35,7 a	32,7 a	30,6 a	34,9 a
a*/b*												
Aspersión	-0,35 a	-0,23 a	-0,47 a	0,22 a	0,60 a	-0,15 a	0,20 a	0,52 a	-0,11 a	0,39 a	0,74 a	0,05 a
Manta	-0,37 a	-0,32 a	-0,42 a	0,05 b	0,35 b	-0,25 a	-0,06 b	0,14 b	-0,27 b	0,17 b	0,33 b	0,01 a
Tono (°)												
Aspersión	107,6 a	102,5 a	113,2 a	72,6 a	50,1 b	95,1 a	81,5 b	67,0 b	96,1 b	72,5 b	57,0 b	88,1 a
Manta	114,4 a	107,8 a	115,0 a	86,2 a	72,4 a	100,2 a	93,8 a	82,5 a	105 a	80,1 a	69,1 a	91,2 a
DE*												
Aspersión	80,0 a	76,3 a	83,7 a	71,0 b	61,8 b	80,2 a	72,0 a	65,0 b	79,1 a	68,7 a	63,1 b	74,4 a
Manta	81,1 a	78,1 a	84,2 a	73,9 a	66,8 a	81,1 a	74,9 a	69,8 a	80,0 a	72,2 a	67,6 a	76,8 a

Cuadro 42: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes lechas. Variedad 'Starking Delicious' bajo dos sistemas de riego, año 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes (= 0,05).

Los valores correspondientes a la primera fecha de muestreo, no presentaron diferencias entre los dos sistemas de riego, y fueron similares a los de 1993. Si se analiza el efecto del riego, en el momento de la recolección y teniendo en cuenta la cara roja, se dieron diferencias significativas para todos los parámetros, lo que indica que en base a dichas variables los frutos regados por aspersión tuvieron una mayor coloración. Para la cara verde, no se dieron diferencias significativas en ninguno de los parámetros colorimétricos en la recolección, lo que indicaría que el incremento de color, se debió fundamentalmente a la mayor coloración de la cara roja en los frutos regados por aspersión.

En los dos fechas previas a la recolección, se detectaron diferencias significativas para todos los parámetros colorimétricos, a excepción de b*, lo que evidencia una mayor coloración de los frutos bajo riego por aspersión (color más intenso), especialmente en la cara más roja, y una mayor precocidad de la misma. El incremento de color, se debió a los mayores contenidos de antocianos de la cara más iluminada, y pone de manifiesto que la luz

favorece su desarrollo, especialmente en variedades de poca coloración como '*Starking Delicious*'.

Para todos los parámetros colorimétricos, tanto en el fruto entero como por caras, se observa, que es a partir de la segunda fecha de muestreo, cuando se produce una evolución importante y diferencial entre los dos sistemas de riego, debido a que la síntesis de antocianos, y consecuentemente la coloración de los frutos, tiene lugar mayoritariamente en el período previo a la recolección. Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos en 1993, dado que en dicho año, en la recolección no existieron diferencias significativas para todos los parámetros analizados y en la fecha previa ningún parámetro presentó diferencias. Contrariamente en 1994, tanto en la recolección como en las dos fechas previas se dieron diferencias para la mayoría de parámetros. Ello puede ser debido, a que las temperaturas antes de la recolección fueron más bajas en 1993 y por tanto pudieron enmascarar el efecto del riego en el color de los frutos.

Considerando conjuntamente los dos años, puede concluirse que el sistema de riego por aspersión favoreció un mejor desarrollo del color que el riego a manta. En años más secos y calurosos, como 1994, el riego por aspersión produjo una mayor modificación de los parámetros colorimétricos, que en años con condiciones más favorables al desarrollo del color, como 1993.

Para una misma fecha y riego, se dieron diferencias significativas en los parámetros colorimétricos de ambas caras del fruto; la significación del factor cara se analiza en apartados posteriores. El estudio de los parámetros colorimétricos correspondientes a las dos caras del fruto y a los dos años, aporta información sobre la intensidad del color, su distribución y uniformidad. En la *Figura 1-64*, se ha representado la evolución de a^*/b^* correspondientes a la cara roja y a la cara verde para los años 1993 y 1994. Los mayores valores del ratio a^*/b^* para la cara roja, correspondieron a 1993; mientras que para la cara verde se obtuvieron valores similares en 1993 y 1994.

[Figura 1-64](#)

Para los dos años existieron diferencias importantes entre caras, siendo los valores de a^*/b^* de la cara roja, entre 10 y 15 veces superiores a los de la cara verde, lo que indica que la distribución del color en el fruto es poco uniforme. Este hecho se da habitualmente en variedades de poca coloración como '*Starking Delicious*' o en variedades bicolors, viéndose favorecido el color en la cara más expuesta a la iluminación. En otras experiencias de riego refrescante, se ha observado (variedad '*Early Red One*') una mayor uniformidad e intensidad de color (*Figura 1-26*).

El resto de parámetros colorimétricos expuestos en los [Cuadros 41](#) y [42](#) (ver tablas [40](#) 1-40 y [41](#) 1-41), indican un comportamiento similar al expuesto para a^*/b^* , y ponen de manifiesto las diferencias entre caras. El parámetro a^* , siempre fue superior en la cara roja, dado que indica el grado de coloración roja. Sin embargo, en experiencias realizadas por otros autores, variedades con una mayor coloración roja proporcionaron menores valores de a^* , lo que no ocurrió con el ratio a^*/b^* , que se considera que está bien relacionado con la percepción visual del color (Singha et al., 1991a,b; 1994).

4.4.- Efecto del riego por aspersión en el contenido de antocianos del fruto

La determinación cuantitativa de los pigmentos antocianos se realizó, al igual que los parámetros colorimétricos, para ambas caras del fruto, para las diferentes fechas en que se realizaron los controles, y para los dos sistemas de riego. Los coeficientes de variación fueron mayores que para los parámetros colorimétricos, y oscilaron alrededor del 29%, correspondiendo los mayores a 1994, a las primeras fechas de muestreo y a la cara verde. En

el [Cuadro 43](#) (tabla 1-42), se han expuesto los resultados obtenidos para los años 1993 y 1994.

Año/ Riego	9/agosto			26/agosto			-			13/septie. (recolección)		
1993	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
Aspersión	3,6 [†] a	5,0 ^{††} a	4,8 [†] a	7,9 ^{††} a	1,8 ^{††}		-	-	-	28,4 [•] a	40,1 ^{••} a	16,7 ^{••} a
Manta	2,4 a	3,9 a	0,90 a	3,7 a	6,1 a	1,3 a	-	-	-	23,3 b	32,2 b	14,5 a
1994	6/agosto			21/agosto			29/agosto			6/septie. (recolección)		
Aspersión	1,2 a	1,6 a	0,90 a	6,7 a	11,6 a	1,8 a	6,2 [†] a	10,6 ^{††} a	1,9 ^{††} a	12,8 a	19,8 a	5,8 a
Manta	0,90 a	1,1 a	0,70 a	3,3 b	5,4 b	1,2 a	3,2 b	5,4 b	1,1 a	8,7 b	12,7 b	4,8 a

Cuadro 43: Valores medios y separación de medias de los contenidos de antocianos (expresados en nmoles/cm²), correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo. Variedad 'Starking Delicious', bajo dos sistemas de riego, años 1993 y 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

([†])Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(^{††})Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

([•])Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(^{••})Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

Tanto en 1993 como 1994, se dieron diferencias significativas en el momento de la recolección para la cara roja y para la totalidad del fruto, correspondiendo los mayores contenidos de antocianos al riego por aspersión; para la cara verde no existieron diferencias entre tratamientos. En las fechas previas a la recolección, no hubo diferencias entre riegos en 1993, mientras que en 1994, tanto en la segunda como en la tercera fecha de muestreo (21 y 29 de agosto), los mayores contenidos correspondieron al riego por aspersión, no existiendo diferencias en la primera fecha.

Los valores correspondientes a las dos caras del fruto, presentaron en todas las fechas diferencias importantes, lo que indica que la distribución de antocianos depende de la cara y es por tanto fotodependiente (Bishop et al., 1975; Proctor et al., 1976; Clerinx, 1983; Mancinelli, 1985). En la recolección, las diferencias entre riegos se mantuvieron, siendo más importantes en 1994, año al que correspondió la menor coloración. Dichos resultados son similares a los expuestos para los parámetros colorimétricos y evidencian la poca uniformidad del color del fruto y que la distribución de antocianos está determinada en gran parte por la cara. Además de la poca uniformidad, es de destacar los bajos contenidos de antocianos de la cara verde en 1994, lo que indica la escasa coloración de la variedad 'Starking Delicious'. Resultados opuestos se han obtenido con la variedad 'Early Red One' en la presente Tesis, para la cual los contenidos de antocianos fueron de hasta 10 veces superiores a los de 'Starking Delicious'.

En la *Figura 1-65*, se ha representado la evolución del contenido de antocianos para los años 1993 y 1994, para los dos sistemas de riego, y para las dos caras del fruto. En la recolección, las diferencias entre años fueron considerables, siendo los valores de 1993 entre 2 y 3 veces superiores con respecto a los de 1994. Ello pudo ser debido al efecto de las temperaturas, que fueron más bajas en 1993 y por tanto más favorables a la síntesis de antocianos (Hulme, 1970; Proctor, 1974; Tan, 1979; Faragher et al., 1983; Recasens et al., 1983). En el tercer muestreo de 1994 se produjo una ligera disminución, para después incrementar de forma importante.

[Figura 1-65](#)

Las diferencias entre caras fueron importantes los dos años, siendo los contenidos de la cara roja entre 2 y 4 veces superiores a los de la cara verde. En 1994, con condiciones menos

favorables a la coloración, las diferencias fueron mayores, siendo los valores correspondientes a la cara verde muy bajos ($< 6 \text{ nmoles/cm}^2$), lo que indica la escasa coloración de los frutos.

Los resultados obtenidos son análogos a los expuestos para los parámetros colorimétricos. Fué a partir de la segunda fecha de muestreo cuando se produjo, especialmente en 1993, el mayor incremento y una evolución diferencial entre los dos sistemas de riego, debido a que la síntesis de antocianos tiene lugar mayoritariamente en el período previo a la recolección.

Estos resultados confirman las observaciones realizadas por otros autores según los cuales el desarrollo del color se produce fundamentalmente durante las 2 o 3 semanas previas a la recolección (Chalmers et al., 1973; Arakawa, 1988b; Saure, 1990; Singha et al., 1994). Sería también en dicho período cuando se produciría la transición de estados inmaduros a maduros, tanto desde el punto de vista de la coloración, como de la maduración (Chalmers et al., 1973).

Considerando globalmente los dos años, puede concluirse, que el sistema de riego por aspersión favoreció un mejor desarrollo del color que el riego a manta, debido a la disminución de las temperaturas y su efecto en la síntesis de antocianos (Chalmers et al., 1973; Mayles, 1989; Williams, 1989a; Saure, 1990). Así mismo, en años más calurosos como 1994, el riego por aspersión produjo modificaciones más importantes -tanto del contenido de antocianos como de los parámetros colorimétricos- que en años con condiciones más favorables al desarrollo del color.

Los resultados obtenidos son coincidentes a los expuestos por otros autores (Unrath 1972a,b; Gilbert et al., 1970; Recasens et al., 1981; 1988; Recasens, 1982; Proebsting et al., 1984; Ferree et al., 1988; Willet, 1989; Williams, 1989; Evans, 1993a; Williams, 1993; Andrews, 1995), que indicaban una mayor coloración para el riego por aspersión, aunque en dichas experiencias el riego por aspersión se aplicó diariamente como riego refrescante y no como aporte hídrico, por lo que las experiencias no son directamente comparables. Se dispone de pocas referencias donde se comparan sistemas de riego y su influencia en el color, dado que la mayoría de experiencias con respecto al riego por aspersión, se refieren a su utilización como riego refrescante aplicado diariamente de forma cíclica o continua.

Complementariamente, y para el año 1994, se determinó de forma visual el color de los frutos, como porcentaje de la superficie del fruto con presencia de color (*Figura 1-66*). La evolución es similar a la expuesta para el contenido de antocianos y a^*/b^* , produciéndose un incremento importante a partir de mediados de agosto. El porcentaje medio de color en la recolección fué bajo y osciló entre el 32% y el 50%, detectándose diferencias significativas entre riegos, correspondiendo la mayor coloración a los frutos regados por aspersión.

[Figura 1-66](#)

Posteriormente, se estableció la relación entre el contenido de antocianos y la apreciación visual del porcentaje del fruto coloreado, expresado éste como porcentaje unitario del área del fruto con presencia de color, en una escala de 0 a 10. Se obtuvo un valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0,60$); con una regresión simple de ajuste exponencial. En otras experiencias con variedades '*Red Delicious*', se han relacionado los valores de colorimetría con la apreciación visual o el atractivo del color de los frutos, estableciendo para ello una escala hedónica de 0 (color no atractivo) a 10 (color muy atractivo), obteniéndose valores de R^2 de entre 0,55 y 0,73 (Singha et al., 1991a,b).

Cuando el ratio de apreciación visual del color se relacionó con las variables colorimétricas el mejor ajuste relativo se obtuvo para el Tono ($R^2=0,53$). En experiencias con otras variedades '*Red Delicious*' de mayor coloración (Singha et al., 1991a,b), se obtuvieron valores próximos a 0,80. Los resultados obtenidos indican que la medición del color con un

colorímetro en la variedad '*Starking Delicious*', se relaciona de una forma medianamente aceptable con la apreciación visual del mismo.

4.5.- Significación de factores principales y de sus interacciones

En los apartados anteriores, se ha estudiado la influencia del factor riego en el contenido de antocianos y en los parámetros colorimétricos de los frutos. Otros factores como: el árbol, el fruto, la cara y sus interacciones, son de interés agronómico, dado que aportan información sobre la influencia del sistema de riego en la distribución del color, tanto en las caras como en los frutos, y en el conjunto del árbol; determinado éste en base a los contenidos de antocianos y a los parámetros de colorimetría.

En el [Cuadro 44](#) (tabla 1-43), se han indicado para el contenido de antocianos, L*, a*/b* y Tono, la interacción de los factores riego, árbol, fruto y cara, y de algunas de sus interacciones, en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994. En variedades rojas como '*Starking Delicious*', la no significación de dichos factores, indica mayor uniformidad del color y una influencia no significativa del factor riego. Es por ello, que conocer su significación es de interés agronómico dado que permite obtener información acerca de la distribución del color.

Factor	1993					1994				
	Anto.	L*	a*/b*	Tono	DE*	Anto.	L*	a*/b*	Tono	DE*
ARBOL x RIEGO	ns	ns	**	*	ns	ns	*	**	*	*
ARBOL x RIEGO x FRUTO	*	ns	*	*	*	*	*	*	**	ns
CARA	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
RIEGO x CARA	*	**	*	*	**	**	**	**	**	**

Cuadro 44: Significación de algunos factores y/o de algunas de sus interacciones para el contenido de antocianos, L*, a*/b*, Tono y DE*, de la variedad '*Starking Delicious*' bajo dos sistemas de riego, en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994.

Anto.: Contenido de antocianos.

ns: no significativo.

(*), (**): nivel de significación =0,05 y =0,01; respectivamente.

La interacción *árbol x riego* (factores jerarquizados), fué significativa para la mayoría de parámetros, lo que indica que se dieron diferencias en la coloración entre los árboles de un mismo tratamiento; lo mismo ocurrió con la interacción triple *árbol x fruto x riego*, por lo que hubo diferencias en el color de los frutos de los árboles de un mismo tratamiento. El factor cara mostró significación para todos los parámetros, lo que indica que existieron diferencias entre las dos caras del fruto, correspondiendo la mayor coloración a la cara más iluminada. Variedades de mejor coloración como '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*', presentaron una mayor uniformidad de color tanto en el fruto como en el árbol ([Cuadro 20](#), ver \\tab 19 tabla 1-19\\). La interacción *riego x cara*, fué significativa para los diferentes parámetros y para los dos años, por lo que el riego afectó de forma diferente a la coloración de las dos caras del fruto, incrementando el color principalmente de la cara roja.

A continuación se analiza la significación de los factores riego y año con el factor fecha, debido a su influencia en el color de los frutos.

4.6.- Análisis conjunto años 1993 y 1994. Influencia de los factores riego y año

4.6.1. - Parámetros colorimétricos

Como resultado global de la experiencia, interesa comparar de forma conjunta los resultados obtenidos durante los dos años del ensayo, tanto del efecto del factor riego como del factor año, en los parámetros colorimétricos. Para ello, se ha considerado la media de las tres fechas comunes en que se realizaron las determinaciones. Con respecto al factor riego (*Cuadro 45, tabla 1-44*), existieron diferencias significativas para el parámetro a^*/b^* , tanto en la recolección como en la fecha previa, y para el Tono en la recolección; resultados que indicaban una mayor coloración para el riego por aspersión. No se dieron diferencias en el resto de parámetros.

Parámetro	Año	DETERMINACIONES (FECHAS)			Interacción FECHA x RIEGO
		1 : Primera	2 : Segunda	3 : Recolección	
L*	Aspersión	75,2a	78,6a	71,1a	ns
	Manta	88,1 a	84,1 a	75,3 a	
a^*/b^*	Aspersión	-0,37a	0,19a	0,55a	ns
	Manta	-0,49a	0,09 b	0,15 b	
Tono (°)	Aspersión	113,4a	81,1a	75,1 b	ns
	Manta	115,5a	85,3a	84,2a	
DE*	Aspersión	86,6a	86,4a	79,2a	ns
	Manta	99,3a	90,1a	82,5a	

Cuadro 45: Valores de los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de los años 1993 y 1994 para los dos sistemas de riego, y significación de la interacción *fecha x riego*, variedad 'Starking Delicious'. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0,05$).
(ns): no significativo.
(*): nivel de significación $\alpha=0,05$.

La interacción *fecha x riego* no fué significativa para ninguno de los parámetros evaluados, lo indica que la evolución de dichos parámetros colorimétricos a lo largo del tiempo, no se vió afectada significativamente por el sistema de riego.

Debido al efecto de las temperaturas en la síntesis de antocianos, y teniendo en cuenta que se produjeron variaciones importantes entre años, es de interés conocer el efecto del factor año en la coloración de los frutos. En las experiencias realizadas durante los años 1993 y 1994, se dieron diferencias importantes en las temperaturas, siendo 1993 un año con temperaturas mínimas inferiores a las de 1994, mientras que en 1994, las condiciones climáticas fueron las propias de un año más caluroso de lo habitual. Se calcularon los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de los dos sistemas de riego, para los años 1993 y 1994, y para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones, con el objeto de estudiar el efecto del factor año. En el momento de la recolección las diferencias entre los dos años fueron significativas para todos los parámetros.

La significación de la interacción *fecha x año* para los parámetros a^*/b^* y Tono, indica que la evolución de a^*/b^* y Tono para las diferentes fechas dependió del factor año, y pone de manifiesto la influencia las temperaturas en los parámetros colorimétricos.

4.6.2. -Contenido de antocianos

Tanto en 1993 como en 1994, el incremento más importante de la concentración de

antocianos tuvo lugar al aproximarse la recolección, lo que indica la importancia del tiempo, evaluado éste en base a los diferentes muestreos o factor fecha. Por otra parte, la influencia de las temperaturas en la coloración de los frutos, durante los dos años de la experiencia, se evaluó con el factor año.

La evolución de los contenidos de antocianos correspondientes a cada sistema de riego, y para los valores medios de los años 1993 y 1994, se ha representado en la *Figura 1-67*.

Tanto en la segunda fecha como en la recolección, los contenidos correspondientes al riego por aspersión fueron superiores a los del riego a manta. En la misma figura se refleja también la evolución del contenido de antocianos para los años 1993 y 1994, y para la media de los dos sistemas de riego. Los valores de 1993 fueron superiores a los de 1994, para la segunda fecha de muestreo y para la recolección.

[Figura 1-67](#)

Considerando de forma conjunta los años 1993 y 1994, la interacción *fecha x riego* no fué significativa, lo que indica que el contenido de antocianos para las distintas fechas no se vió influenciado de forma consistente por el sistema de riego, a pesar de que fué superior para el riego por aspersión. Teniendo en cuenta la media de ambos sistemas de riego, la concentración de antocianos para las diferentes fechas se vió influenciada de forma significativa por el año (interacción *fecha x año*); siendo en el año 1993 cuando el contenido fué superior, debido a que las temperaturas en el período previo a la recolección difirieron considerablemente entre años. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos por otros autores (Unrath,1972a,b; Saure, 1990; Clerinx, 1983; Crassweller et al., 1989; Williams, 1993), según los cuales existe una interacción significativa del color y del contenido de antocianos con el factor año.

[Figura 1-68](#)

[Figura 1-69](#)

[Figura 1-70](#)

4.7.- Relación entre las condiciones ambientales y la síntesis de antocianos

Las condiciones ambientales se modificaron por el riego por aspersión y también presentaron diferencias entre años. Las temperaturas mínimas en el período previo a la recolección de '*Starking Delicious*' fueron muy inferiores en 1993 ([Figura 1-37](#)). Fué en dicho período, cuando se produjo el incremento más importante del contenido de antocianos, reflejado también por una evolución de los parámetros colorimétricos (figuras [1-64](#) y [1-65](#)); resultados que son coincidentes con los expuestos por otros autores (Recasens, 1982; Recasens et al., 1984;1988). El salto térmico para dicho período fué similar en los años 1993 y 1994 ([Figura 1-38](#)), por lo que puede afirmarse que las temperaturas mínimas en 1993, tuvieron un efecto más importante en la síntesis de antocianos que el salto térmico.

El efecto del riego por aspersión en la mejora del color, se debe a que provoca una disminución de la temperaturas máximas y mínimas durante el período en que es aplicado (8-9 horas). El hecho de no aplicarse con una periodicidad diaria, pudo haber ocasionado que el efecto del riego en la mejora del color no fuera tan importante como en las experiencias de riego refrescante. El riego a manta, no influyó en la mejora del color; de hecho su aplicación no modificó la temperatura y la humedad relativa ambientales ([Figura 1-63](#)) de la plantación.

El incremento de la humedad relativa que provocó el riego por aspersión, alrededor de un 30%, no parece que pueda tener una influencia directa en la síntesis de antocianos (Gilbert et al., 1970), aunque según Saure (1990), existiría una correlación entre la baja humedad relativa y el incremento del color rojo. Sin embargo, los resultados obtenidos indican una mayor coloración de los frutos sometidos a riego por aspersión, que son los que se encuentran

bajo condiciones de mayor humedad relativa ambiental.

Para ilustrar la influencia de las temperaturas en la síntesis de antocianos, en la *Figura 1-71*, se ha representado gráficamente la evolución de las temperaturas mínimas con sus correspondientes contenidos de antocianos (correspondientes al riego por aspersión) en cuatro fechas, del período 9 de agosto-7 de septiembre.

[Figura 1-71](#)

En 1993 que se dieron, a partir del día 20 de agosto, temperaturas mínimas inferiores a las de 1994, el contenido de antocianos fué superior, existiendo por tanto una relación inversa entre dichas variables. Creasy (1968), Tan (1979;1980), Faragher, 1983; Arakawa (1988b) y Singha et al. (1994), pusieron en evidencia que la cantidad de pigmentos sintetizada antes de la recolección, estaba inversamente relacionada con la temperatura.

4.8.- Evolución de la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL)

Durante los años 1993 y 1994 se determinó, paralelamente al contenido de antocianos, la evolución de la actividad de la PAL para los dos sistemas de riego aplicados. Se observaron diferencias entre tratamientos en cuanto a la actividad enzimática, a la fecha en que ésta alcanzó su valor máximo, y a su evolución a lo largo del tiempo. En los frutos regados por aspersión, la actividad fué superior con respecto a los regados a manta, lo que puede deberse al efecto refrescante del riego, aspecto éste ya mencionado en otros trabajos donde se aplicaron productos nutricionales y fitoreguladores, los cuales incrementaron la actividad de la PAL (Faragher et al., 1984; Blankenship et al., 1988).

La actividad enzimática de la PAL correspondiente a los años 1993 y 1994, y para los dos sistemas de riego, se ha representado en la *Figura 1-72*, observándose diferencias significativas entre riegos, las cuales fueron más importantes en 1994. Ello pudo deberse, al igual que ocurrió con los antocianos, a que las temperaturas en el período previo a la recolección fueron inferiores en 1993, y enmascararon parcialmente el efecto del riego por aspersión.

[Figura 1-72](#)

La evolución de la actividad enzimática de la PAL fué similar en los años 1993 y 1994, presentando un máximo previo a la recolección y posteriormente una disminución. Las diferencias entre años fueron importantes, siendo la actividad máxima de 1993 más del doble que la de 1994. Los niveles tanto de partida como finales fueron también superiores en el año 1993, lo que pone de manifiesto la influencia positiva de las bajas temperaturas promoviendo la actividad de la PAL (Creasy, 1974; Faragher, 1983; Faragher et al., 1984). En experiencias realizadas con la variedad '*Starking Delicious*' en la zona de Lleida, donde se aplicaron diferentes productos nutricionales y reguladores de crecimiento para la mejora del color, se obtuvieron valores de actividad enzimática de la PAL similares a los expuestos (Larrigaudiere, 1995; Larrigaudiere et al., 1995).

Faragher et al. (1977), Blankenship et al. (1988), y Cheng et al. (1991), encontraron una estrecha relación entre la actividad de la PAL, y la producción y acumulación de antocianos en la piel del fruto, los cuales se incrementaban durante el proceso de maduración. Por otra parte, a medida que se aproxima la recolección, los frutos tienen una mayor respuesta a la activación de la PAL (Larrigaudiere et al., 1995), tanto por factores endógenos al fruto (etileno, giberelinas, etc.), como externos (aplicación de reguladores de crecimiento, temperatura, luz, etc.). Es por ello, que se consideró de interés conocer la relación existente entre la actividad enzimática de la PAL y los correspondientes contenidos de antocianos, así como su evolución, para los años 1993 y 1994 (*Figura 1-73*).

[Figura 1-73](#)

Al igual que ocurrió en otras experiencias (Hyodo, 1971; Arakawa, 1986; Blankenship et al., 1988; Cheng et al., 1991; Guiwen et al., 1991), la síntesis de antocianos continuó después de que la actividad de la PAL hubiese ya alcanzado un máximo. La misma observación ha sido realizada por otros autores con la variedad '*Starking Delicious*' (Larrigaudiere, 1995; Larrigaudiere et al., 1985), lo que indica que la cinética de evolución de la actividad enzimática de la PAL es diferente a la de la síntesis de antocianos, a pesar de que ambas rutas de síntesis están estrechamente relacionadas.

El máximo de la actividad de la PAL no coincide con la máxima acumulación de antocianos, sino que se produce un desfase de entre 10 y 20 días entre ambos; diferencia que puede explicarse, dado que en la biosíntesis de antocianos se producen 11 reacciones enzimáticas, siendo la primera de ellas catalizada por la PAL. Es por ello, que se produce una diferencia en el tiempo entre el inicio de la biosíntesis y la producción final de antocianos, hecho también observado por otros autores (Faragher et al., 1977; Arakawa, 1986; Blankenship et al., 1988; Cheng et al., 1991).

Así mismo, una mayor actividad enzimática de la PAL, llevó siempre implícito un mayor contenido final de antocianos en la piel del fruto. En años como 1993, con temperaturas más bajas que en 1994, se obtuvo una mayor coloración final de los frutos, lo que primariamente pudo deberse a la mayor actividad de la PAL, que fué aproximadamente el doble que en 1994. Paralelamente el contenido de antocianos de 1993, alcanzó también valores dos veces superiores con respecto a 1994. En trabajos precedentes, algunos autores habían observado que al alcanzar la PAL un determinado nivel de actividad enzimática, la acumulación de antocianos se detenía (Arakawa, 1986; Cheng et al., 1991). Faragher (1980) estableció este valor en 1,25 nkat/kg de peso fresco para la variedad '*Jonathan*', lo cual no coincide con los resultados que se acaban de exponer, dado que dicho valor se superó en 1993.

En experiencias realizadas en la presente Tesis con la variedad '*Early Red One*' (año 1993), el riego refrescante aplicado tanto al mediodía como al anochecer, promovió la actividad enzimática de la PAL. La buena coloración de dicha variedad estuvo relacionada con valores de actividad enzimática 2 veces superiores a los expuestos para la variedad '*Starking Delicious*', lo que se tradujo en elevados contenidos de antocianos ([Figura 1-32](#)); hecho postulado por otros autores (Given et al., 1988), según los cuales, en variedades de mayor coloración la actividad de la PAL debía ser mayor.

Puede por tanto afirmarse, que la mejora del color por la aplicación del riego por aspersión en la variedad '*Starking Delicious*', actúa promoviendo la actividad de la PAL. El incremento de este enzima en la presente experiencia ha estado directamente relacionado con la biosíntesis de antocianos, por lo que los resultados son coincidentes a los obtenidos por otros autores (Faragher et al., 1977a,b; Faragher et al., 1984; Blankenship et al., 1988; Larrigaudiere, 1995; Larrigaudiere et al., 1995).

4.9.- Relación entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos del fruto

En las experiencias se determinó para cada uno de los frutos de las diferentes muestras, tanto los valores de cromaticidad como sus correspondientes contenidos de antocianos, con el objeto de establecer las relaciones entre ambas variables. Diferentes autores han determinado en variedades '*Red Delicious*' la relación entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos o la apreciación visual del color de los frutos, obteniendo valores de los coeficientes de determinación de entre 0,59 y 0,93 (Francis, 1975;1980; Polesello et al., 1980; Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993; Lancaster et al., 1994).

El análisis de regresión entre los parámetros colorimétricos (L^* , a^* y b^* , Tono,

Saturación y DE*), con el contenido de antocianos correspondiente a las mismas, se realizó únicamente en la recolección y de forma conjunta para los dos tratamientos de riego. Se analizaron también de forma conjunta los dos años y las dos caras del fruto y, posteriormente, de forma separada los años y las caras. Los modelos de regresión lineal múltiple obtenidos figuran en el Cuadro 46 (tabla 1-45), en todos los casos fueron altamente significativos (**: $\alpha=0,01$).

El valor del coeficiente de determinación (R^2), para 1993+1994 conjuntamente, fué de 0,55; mientras que si se considera únicamente 1993 descendió a 0,39, y fué de 0,51 para 1994. El resultado que cabría esperar es el inverso, dado que en experiencias expuestas en el presente trabajo, se obtuvieron los valores más elevados para 1993, que fué el año de mayor coloración. Si se comparan las caras, los menores valores de R^2 correspondieron a la cara roja, lo que también ocurrió en la variedad 'Topred Delicious' (Cuadro 31) \\tab 30 tabla 1-30\\, y en las variedades evaluadas en el Capítulo II.

Período/ cara	Ecuación del modelo de regresión [Intervalo de confianza]*	R^2
1993+ 1994	y = 84,5 - 0,46 a* - 1,17 b* - 0,40 Tono a* = [-1,06 -0,01]; b* = [-0,99 -1,35]; Tono= [-0,16 -0,64]	0,55**
1993	y= 71,6 - 0,26 L* - 0,59 b* - 0,13 Tono L* = [-0,04 -0,56]; b* = [-0,07 -1,25]; Tono= [- 0,0'5 -0,21]	0,39**
1994	y = 21,8 - 0,42 b* + 9 (a*/b*) b* = [-0, 10 -0,74]; a*/b* = [13,7 4,3]	0,51**
Cara roja	y = 70,7 - 1,5 b* - 0,16 Tono b* = [-0,84 * -2,16]; Tono =[-0,03 -0,35]	0,38**
Cara verde	y = 29,1 - 0,62 b* b* = [-0,52 -0,72]	0,43**

Cuadro 46: Modelos de regresión lineal múltiple, intervalos de confianza de las variables, coeficientes de determinación (R^2) y significación de diferentes, modelos de regresión lineal múltiple entre el contenido de antocianos y los valores colorimétricos de la variedad 'Starking Delicious', en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994.

(y): contenido de antocianos.

(*)nivel de significación $\alpha=0,05$.

(**): nivel de significación $\alpha=0,01$.

En base a los resultados obtenidos, puede concluirse, que los modelos de regresión lineal múltiple indicarían una predicción medianamente aceptable de los contenidos de antocianos en base a los parámetros colorimétricos, debido al porcentaje de variabilidad explicada por los mismos ($< 56\%$). Los valores de R^2 expuestos son inferiores a los obtenidos en diversos trabajos con otras variedades 'Red Delicious', donde oscilaron entre 0,65 y 0,80 (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1990a,b; 1994; Graell et al., 1993).

Se realizó también un análisis de regresión simple entre el contenido de antocianos y cada uno de los valores colorimétricos L*, a*, b*, a*/b*, Tono, Saturación y DE*. Se eligieron los modelos que proporcionaron los mejores ajustes (mayor R^2) y que fueran significativos ($\alpha 0,05$), considerando de forma conjunta y de forma separada los años 1993 y 1994, para el fruto entero y por caras. En la Figura 1-74, se exponen 4 regresiones simples correspondientes a los valores conjuntos de 1993 y 1994. Los modelos de regresión que

proporcionaron el mejor ajuste, correspondieron a ecuaciones polinómicas (a^* , a^*/b^* y Tono) y exponenciales (b^*). En cada caso se ha representado el tipo de ecuación (exponencial, potencial, logarítmica, polinómica), que presentó un mejor ajuste, así como su correspondiente coeficiente de determinación.

De los 7 parámetros colorimétricos, ninguno proporcionó valores de R^2 superiores a 0,60; siendo en general inferiores a 0,50. El mejor ajuste correspondió a: Tono, a^*/b^* , a^* y b^* . Resultados análogos se obtuvieron considerando separadamente las dos caras del fruto, proporcionando valores superiores la cara roja. En el año 1993, y considerando conjuntamente las dos caras del fruto, los mayores valores de R^2 correspondieron a: Tono (0,60), a^*/b^* (0,51) y DE^* (0,50); mientras que para 1994 fueron: a^*/b^* (0,53), Tono (0,52) y DE^* (0,52).

Figura 1-74

Los resultados obtenidos indican que la mayoría de modelos explicaron menos del 60% de la variabilidad existente. Sin embargo, el elevado número de puntos utilizados para los ajustes y el hecho de que las regresiones fueron siempre significativas, proporciona una mayor validación de la hipótesis de significación, por lo que la predicción de los contenidos de antocianos en base a los parámetros colorimétricos, puede considerarse aceptable para valores de R^2 superiores al 45% (Baugher et al., 1995). Resultados similares para a^*/b^* y para el Tono fueron obtenidos por Singha et al. (1991b), al evaluar variedades '*Red Delicious*'. Al igual que se acaba de exponer, dichos autores siempre obtuvieron mejores ajustes para a^*/b^* que para a^* o b^* separadamente, a pesar de ser a^* la coordenada que indica el color rojo.

En base al análisis de regresión, puede concluirse, que para la variedad '*Starking Delicious*' no existe una relación óptima que permita explicar o predecir el contenido de antocianos a partir de uno o varios parámetros colorimétricos, por lo que este método en variedades de coloración estriada no proporciona valores de predicción tan fiables como en las de coloración más uniforme. Ello puede deberse, como ya han mencionado otros autores (Knee, 1980; Graell et al., 1993), a que en variedades de coloración estriada la determinación del color con el colorímetro no proporciona valores que reflejen de forma adecuada las características de dicha coloración, debido a que aporta una medida "total" del color que no refleja la apreciación visual del mismo. Consecuentemente, existe una menor relación con el contenido de antocianos, que viene dado por un valor medio entre lo más rojo y lo menos rojo de las estrías. Este hecho es más evidente, si se tiene en cuenta que en otras experiencias realizadas en el presente trabajo con variedades de color uniforme como '*Early Red One*', se han obtenido valores de $R^2 > 0,90$. En diversas experiencias realizadas con variedades '*Red Delicious*', (Singha et al., 1990a,b; 1994), donde se relacionó el contenido de antocianos con los parámetros colorimétricos no se evaluó la variedad '*Starking Delicious*', por considerar que no ofrecía ningún interés por su deficiente coloración.

4.10.- Influencia del riego por aspersión en los parámetros de calidad del fruto

Evaluar el efecto del riego por aspersión en la coloración de los frutos, ha sido objeto de análisis y discusión en los apartados anteriores, dado que es el parámetro de calidad de mayor importancia. Sin embargo, no pueden obviarse otros, como son: la firmeza, el contenido de sólidos solubles, la acidez, la relación sólidos solubles/acidez y el calibre del fruto. Dichos parámetros se determinaron en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994, exponiéndose los resultados obtenidos en la [Cuadro 47](#) (tabla 1-46).

<i>Parámetro</i>	<i>Riego</i>	1993	1994	Interacción AÑO x RIEGO
Peso¹ (g/fruto)	<i>Aspersión</i>	194,6 a	246,8 a	ns
	<i>Manta</i>	181,1 b	244,2 a	
Calibre¹ (mm)	<i>Aspersión</i>	72,1 a	83,3 a	ns
	<i>Manta</i>	69,2 b	82,4 a	
Firmeza² (kg)	<i>Aspersión</i>	7,7 a	6,7 a	ns
	<i>Manta</i>	7,1 b	6,2 b	
Sólidos solubles³ (*Brix)	<i>Aspersión</i>	11,9 a	15,0 a	ns
	<i>Manta</i>	11,2 b	14,5 b	
Acidez³ (g/l)	<i>Aspersión</i>	3,9 a	3,6 b	**
	<i>Manta</i>	3,7 b	3,8 a	
Sólidos s./acidez³	<i>Aspersión</i>	3,1 a	4,1 a	ns
	<i>Manta</i>	3,0 b	3,9 b	

Cuadro 47: Influencia de dos sistemas de riego en diferentes parámetros de calidad de los frutos de la variedad '*Starking Delicious*', años 1993 y 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$). Se indica la significación de la interacción *año x riego*.

(1) Cada valor corresponde a la media de 70 determinaciones.

(2) Cada valor corresponde a la media de 140 determinaciones.

(3) Cada valor corresponde a la media de 5 determinaciones.

(ns) no significativo.

(* *) nivel de significación $\alpha = 0,01$.

En 1993, tanto el peso como el calibre de los frutos, fueron superiores en el riego por aspersión con respecto al riego a manta, no existiendo diferencias en 1994. El riego por aspersión proporcionó mayor firmeza, contenido más alto de sólidos solubles, y mayor valor del ratio sólidos solubles/acidez, para los dos años. La acidez presentó diferencias significativas los dos años, existiendo una interacción significativa de los factores *año x riego*. Ello indica que la respuesta al riego para dicho parámetro dependió del factor año, lo que no ocurrió con el resto de parámetros. En experiencias realizadas por Unrath (1972a,b) y Williams (1993), se encontraron interacciones significativas de los factores: localidad, año y variedad, con el tipo de riego.

Tanto el peso medio del fruto, como el calibre, fueron los habituales para la variedad '*Starking Delicious*' en condiciones normales de cultivo. Los valores de firmeza correspondientes a 1993, se encuentran en el intervalo 7-7,5, considerado como óptimo (Urbina, 1990); mientras que para 1994 fueron inferiores, debido probablemente a las elevadas temperaturas que se dieron en el período previo a la recolección. Para el resto de parámetros analizados, los valores obtenidos se encuentran en los intervalos considerados como adecuados para variedades '*Red Delicious*'. El contenido de sólidos solubles fue superior a 11° Brix (Urbina, 1990), aunque algunos valores no se encuentran dentro del rango óptimo de 12-14° Brix (Herrero et al., 1992). Para los dos sistemas de riego la acidez fue superior a 3g/l, considerándose por tanto adecuada (Duran, 1983; Delhom, 1986).

Teniendo en cuenta el conjunto de parámetros de calidad del fruto, puede concluirse, que la mayoría de éstos se vieron mejorados por el efecto del riego por aspersión, en comparación con el riego a manta. Resultados análogos fueron obtenidos por Unrath (1972a,b), al comparar el efecto del riego refrescante por aspersión y a manta, en la coloración y en la calidad de los frutos. La mejora no significativa de algunos parámetros, como el calibre de los frutos, o el efecto poco consistente en la acidez, indicaría que el efecto

de este sistema de riego en el conjunto de parámetros de calidad del fruto es menos significativo que un riego refrescante aplicado diariamente. De hecho, este tipo de riego, aplicado en otras experiencias de forma diaria y durante las horas de máximo calor, mejoró el calibre y el peso de los frutos (Barbee, 1971; Recasens, 1982; Proebsting et al., 1984; Recasens et al., 1984;1988; Lowel, 1981; Williams, 1993); mientras que en la presente experiencia, se aplicó como un sistema de riego con una periodicidad semanal, por lo que el efecto refrescante no fué objetivo de la aplicación del riego por aspersión.

4.11.- Conclusiones

Los resultados obtenidos con la variedad '*Starking Delicious*' bajo dos sistemas de riego (aspersión y manta), durante los años 1993 y 1994, permiten extraer las siguientes conclusiones:

En base a los parámetros colorimétricos L*, a*/b* y Tono, el riego por aspersión proporcionó, en la recolección, mayor color de los frutos que el riego a manta. Con dicho riego se obtuvo también una mayor precocidad en la coloración.

El mayor contenido de antocianos, tanto en la recolección como en las fechas previas, correspondió al riego por aspersión, especialmente en 1994.

El riego por aspersión produjo la mayor modificación de los parámetros colorimétricos y de los contenidos de antocianos en 1994, año en que se dieron las condiciones climáticas más desfavorables al desarrollo del color.

El factor año influyó significativamente en la coloración, correspondiendo el mayor color al año 1993, en que se dieron las temperaturas más bajas que enmascararon parcialmente el efecto del riego por aspersión en el color.

La acumulación de antocianos y la evolución de los valores de cromaticidad fueron más importantes durante los 20 días previos a la recolección.

La distribución del color mostró, para ambos sistemas de riego, importantes diferencias entre las dos caras del fruto.

El riego por aspersión promovió la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL), en relación con el riego a manta. La máxima actividad de la PAL se anticipó con respecto a los contenidos máximos de antocianos, mostrando un desfase de 10 a 20 días entre ambos.

En la recolección los valores de colorimetría, no proporcionaron una buena predicción de los contenidos de antocianos en la piel de la manzana, debido a la coloración estriada de '*Starking Delicious*'.

Los parámetros de calidad del fruto se han visto en general mejorados por el riego por aspersión, especialmente la firmeza y el contenido de sólidos solubles.

CAPÍTULO II :

INFLUENCIA DEL MATERIAL VEGETAL EN LA COLORACIÓN DE VARIEDADES ROJAS DE MANZANA (*Malus Domestica* Borkh.)

I.- INTRODUCCIÓN

Diferentes prácticas culturales como el riego refrescante por aspersión, la poda en verde, el control del vigor de los árboles, y la aplicación de reguladores de crecimiento pueden mejorar el color de los frutos. Sin embargo, de las alternativas de mayor interés, es la introducción de variedades más adaptadas a climas calurosos de llanura y que permitan obtener una adecuada coloración de los frutos. La calidad gustativa de las variedades introducidas, deberá estar en concordancia con las exigencias del consumidor, aspecto vez más valorado, como lo evidencia el éxito que en diversos países están teniendo variedades como '*Braeburn*', '*Fuji*' o '*Gala*' (Stebbins et al., 1991; Blanchet et al., 1995).

Dentro de las variedades rojas, el lugar predominante desde el punto de vista de su aportación a la producción final, lo ocupan las del grupo '*Red Delicious*', dado que representan el 37% de la producción mundial de manzana (Brueggen et al., 1988) y en países como Estados Unidos, Chile, o incluso en la Unión Europea, se sitúan en el segundo lugar en importancia, después de '*Golden Delicious*'. La variedad original '*Delicious*' fue descubierta en 1879 (Fisher et al., 1989); después de más de un siglo de existencia, se dispone actualmente de más de 140 mutantes, de los cuales unos 50 tienen verdadera importancia económica.

El color del fruto es el atributo de mayor importancia en estas variedades, por lo que es tenido en cuenta por las normas de calidad de las manzanas (MAPA, 1985c), y determina en gran medida la aceptación por el consumidor y su valor comercial (Crassweller et al., 1989; Fisher et al., 1989). La falta de color se asocia generalmente a una deficiente calidad (harinosidad del fruto, etc.), y va también en detrimento del atractivo visual del fruto (Baughner et al., 1990). Consecuentemente, el principal criterio en la selección de nuevas variedades de manzana, sigue siendo la intensidad del color, su precocidad y características (uniforme, estriado, etc.) (Fisher et al., 1981; Crassweller et al., 1989).

Otros criterios tenidos en cuenta en los programas de selección y mejora, han sido: el hábito de crecimiento o tipo de vegetación (*estándar* o *spur*), la producción y la forma del fruto (Fisher et al., 1970; 1981; Crassweller et al., 1989; 1991). En estas variedades, los frutos alargados y con la presencia de lóbulos marcados se asocia a una mayor calidad, ya que corresponden a zonas de producción con climas más frescos, que proporcionan también frutos de mayor color y dureza.

Numerosos trabajos aportan información respecto a la productividad y al vigor de estas variedades en diferentes localidades de los Estados Unidos y de Europa (Lord et al., 1979; 1980; Le Lezec et al., 1983; 1990; Dozier et al., 1984; Ferree et al., 1982; Iglesias, 1990; Warrington et al., 1990; Trillot et al., 1993).

Con respecto al hábito de vegetación, Fisher et al. (1980) y Warrington et al. (1990), indicaron que las variedades *spur* tenían un mayor número de yemas por metro lineal de madera, un mayor número de hojas por yema, una mayor superficie por hoja, y una mayor eficiencia productiva que las variedades *estándar*. La obtención de mutantes *spur* ha supuesto en general una mejora de la productividad; sin embargo, la característica más destacable de estas variedades ha sido una mejor coloración, incluso en las partes interiores del árbol y en condiciones de climas calurosos, estableciéndose diferencias importantes entre variedades, en lo referido a la precocidad y a las características del color (Powell et al., 1984; Crassweller et al., 1985; Dennis, 1987). Numerosos estudios realizados, evidencian importantes diferencias en la intensidad y en las características de color de los frutos, disponiendo actualmente de variedades de elevada coloración como '*Scarlet Spur*', '*Dixiered*', '*Oregón Spur II*', '*Super Chief*', '*Vallée Spur*', '*Red Miracle*', etc. (Baughner et al., 1990; Trillot et al.,

1993; Fallahi et al., 1994; Warner, 1995c).

También se han realizado estudios de caracterización de los diferentes mutantes, en base a la firmeza, la acidez y el contenido de azúcares, con el objetivo de determinar diferencias en la maduración y en la calidad de los frutos (Fisher et al., 1970; Ingle, 1972; Le Lezec et al., 1983; Baugher et al., 1990a; Fallahi et al., 1994), habiéndose detectado diferencias entre tipos *estándar* y *spur*.

Dado que las recientes selecciones presentan una intensa y precoz coloración, incluso en climas cálidos, la recolección deberá realizarse en el momento óptimo para no penalizar la calidad de los frutos. Sin embargo, y dado que raramente los consumidores tienen la oportunidad de comparar el sabor de las diferentes variedades, el color sigue siendo el principal criterio de selección de nuevas variedades.

Con la experiencia planteada en el presente trabajo, se ha obtenido información acerca de las características de la coloración de 8 variedades del grupo '*Red Delicious*', algunas de ellas de reciente introducción y de las cuales se desconocía su comportamiento en nuestra zona frutícola. Complementariamente se han evaluado otros aspectos como la productividad y la calidad de los frutos. Dicha información es de especial interés para el sector productor, dado que corresponde a la zona frutícola de Lleida, con dificultad para la coloración de variedades rojas de manzana.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

1.- MATERIAL

1.1.- Variedades

En el ensayo se evaluaron 8 variedades rojas de manzana del grupo '*Red Delicious*'.

El patrón sobre el que se injertó cada variedad y el subgrupo a los que pertenecían las variedades fueron:

***Grupo '*Red Delicious*':**

Subgrupo *estándar*: '*Topred Delicious*'/'M-9', '*Sharpred*'/'M-9', '*Early Red One*'/'MM-106', '*Hy Early*'/'M-9' y '*Red Miracle*'/'MM-106'.

Subgrupo *spur*: '*Oregón Spur*'/'MM-106', '*Red Chief*'/'MM-106' y '*Elite*'/'M-26'. La fecha de recolección se realizó entre los 135 y 145 días después de la plena floración, lo que equivale al período 5-14 de septiembre.

A continuación se realiza una descripción de las principales características de las variedades: '*Sharpred*', '*Hy Early*', '*Red Miracle*', '*Red Chief*' y '*Elite*'. Las características de '*Early Red One*', '*Topred Delicious*' y '*Oregón Spur*', se han expuesto en el Capítulo I.- Material: "*Variedades*" (pág. 184).

'*Sharpred*' (*Shacir*), (*Malus domestica* Borkh.), mutación de '*Shotwell Delicious*', descubierta en 1963 por Del Sharp en Wenatchee (EE.UU.). Variedad *estándar*, vigor similar a '*Topred Delicious*' y producción superior. Frutos de color rojo con estrías aparentes, precocidad de la aparición del color inferior a '*Red Chief*'. En años poco favorables la recolección debe realizarse en dos pasadas. Calibre medio, homogéneo, inferior a '*Topred Delicious*', calidad gustativa similar.

'*Hy Early*' (*Malus domestica* Borkh.), mutación gemaria de '*Starking Delicious*' obtenida en Estados Unidos. Variedad *estándar*, árbol vigoroso, por lo que requiere patrones

débiles para favorecer su entrada en producción, la cual es similar a '*Topred Delicious*'. Fruto de color rojo estriado; coloración ligeramente superior a '*Topred Delicious*'; en años calurosos la falta de color conlleva a que sean precisas más de una pasada de recolección. Calibre medio-grande. Buena calidad gustativa.

'*Red Miracle*' (*Averdal*) (*Malus domestica* Borkh.), procede de una mutación de '*Red King Delicious*' descubierta recientemente en Francia. Variedad poco estable en cuanto al comportamiento vegetativo; el vigor es similar a '*Early Red One*', por lo que pertenece al grupo *estándar*, a pesar de que se observan con frecuencia reversiones al tipo *spur*, por lo que requiere un nuevo proceso de selección. Productividad buena. Variedad que destaca por su intensa y precoz coloración, ya que desde el estadio fenológico I hasta la recolección, los frutos presentan, en la cara más soleada, una coloración roja que se intensifica al aproximarse la recolección. El color es uniforme y no presenta estrías. La calidad del fruto es aceptable y el calibre medio. De las variedades actualmente disponibles, es una de las que presenta la coloración más precoz, incluso en climas calurosos.

'*Red Chief*' (*Camspur*) (*Malus domestica* Borkh.), mutación gemaria de '*Starkrimson*', descubierta por Fred Campbell en el Estado de Washington (EE.UU.). Arbol de marcado carácter *spur*, de muy rápida entrada en producción, por lo que requiere patrones vigorosos. Coloración precoz y uniforme en el conjunto del árbol, por lo que puede realizarse la recolección en una sola pasada. Fruto muy atractivo, alargado, con lóbulos bien marcados, estrías poco aparentes en la cara más expuesta a la iluminación. Calidad gustativa inferior a '*Topred Delicious*'. Si el árbol dispone de vigor adecuado y si se aplica una poda correcta, que permita obtener buenas producciones, se trata de una de las mejores variedades rojas del grupo '*Red Delicious*'.

'*Elite*' (*Malus domestica* Borkh.), mutación de '*Topred Delicious*', descubierta en el Estado de Washington (EE.UU.) en 1967. Variedad *spur* de poco vigor (similar a '*Red Chief*'), requiere patrones vigorosos para obtener una buena producción. Color del fruto uniforme, estriado inicialmente, estrías poco aparentes en el momento de la recolección. Atendiendo al color la recolección puede realizarse en una sola pasada. Calibre medio y homogéneo. Calidad gustativa similar a la de otras variedades *spur*.

Para obtener más información sobre dichas variedades pueden consultarse numerosos trabajos publicados (Fisher et al., 1980; Ferree et al., 1982; Le Lezec et al., 1983;1990; Masseron, 1986; Dennis, 1987; Brueggen et al., 1988; Plotto, 1988; Le Lezec, 1990; Van Laer, 1990; Walsh, 1990; Iglesias,1989b;1990;1991b;1994a; Sttebins, 1992; Trillot et al., 1993;).

1.2.- Patrones

Los patrones utilizados, en orden de vigor creciente fueron: '*M-9*', '*M-26*' y '*MM-106*'.

El '*M-9*' es un patrón débil, de vigor superior al '*M-27*' y pertenece a la serie East Malling (EM). Induce una rápida entrada en producción, un buen calibre de fruto y una buena productividad. Poco sensible a *Phythoptora*.

Sus múltiples selecciones libres de virosis, son las más utilizadas actualmente en plantaciones intensivas.

El '*M-26*' es un patrón débil, de vigor ligeramente superior al '*EM-9*' perteneciente a la serie Malling (M). Induce una buena productividad. Medianamente sensible a *Phythoptora*.

El '*MM-106*', confiere un vigor próximo al '*M-7*' y pertenece a la serie Malling Merton (MM). Sensible a *Phythoptora*. Confiere una buena productividad, un buen calibre (inferior al '*M-9*') y una rápida entrada en producción.

Diversas publicaciones contienen información complementaria sobre las características

de dichos patrones (Ferree et al., 1982;1987; Felipe, 1989; Masseron et al., 1989; Barrit et al., 1993; Iglesias, 1994; Autio et al., 1996).

1.3.- Características de la finca experimental

Se trataba de una finca experimental cuyo objetivo era comprobar la adaptación a la zona tardía Lleida de una colección de 95 variedades de manzano y 27 de peral. La finca pertenecía, al Servei d'Extensió Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia y Pesca de la Generalitat de Catalunya, gestionada en colaboración con las Cooperativas del Campo de Bellpuig, Ivars d'Urgell y La Fuliola. Las variedades objeto de estudio en el presente trabajo se introdujeron los años 1984, 1986 y 1989.

1.3.1. -Situación

La finca donde se llevaron a cabo los ensayos se encontraba situada en la zona frutícola de Lleida, concretamente en la localidad de Seana (Término Municipal de Bellpuig), a una altitud sobre el nivel del mar de 283 m. La localización de la finca puede observarse en la [Figura 1-11](#) del Capítulo I.- Material y métodos: "*Situación*"; encontrándose próxima a las fincas de El Poal y Mollerussa, donde se realizaron los ensayos de riego por aspersión, por lo que las condiciones climáticas fueron similares.

Atendiendo al "Mapa Agroclimatic de la Zona Fruitera de Lleida" (Iglesias et al., 1992), la finca está situada en la Zona-7a (Unidad I₁), correspondiendo a la zona tardía de Lleida, de recolección 15 días posterior con respecto a la zona temprana. Desde el punto de vista climático y edafológico, no son previsibles limitaciones importantes para el cultivo del frutal. El riesgo de heladas es medio y puede afectar especialmente a las variedades del grupo '*Red Delicious*'.

1.3.2. -Suelo

Los suelos de la finca experimental pertenecen a la serie SEANA (Xerocept, petrocálcico, esquelético, franco, calcáreo, méxico, superficial), según cartografía realizada por la Sección de Suelos y Fertilizantes del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya. Se trata de suelos con una profundidad enraizable pequeña (50 cm) y de textura franco-arenosa. Los resultados analíticos del análisis de suelo, correspondientes a los dos horizontes superiores, se exponen en el *Cuadro 48 (tabla 2-1)*.

<i>Horizonte</i>	pH	C.E a 25°C	M Orgánica (%)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Caliza	Textura
<i>Profundidad</i>	(1:2,5)	(dS/m)	(%)	ppm	ppm	activa (%)	(USDA)
Ap₁ (0-28 cm)	7,9	0,15	2,6	6	133	5	Franco-arenosa
AP₂ (28-40 cm)	7,9	0,15	1,9	3	43	9	Franca

Cuadro 48: Resultados analíticos del análisis de suelo, correspondientes a los dos horizontes superiores.

Los contenidos de fósforo y potasio son medios; el pH es de moderadamente básico a básico. Los suelos no están afectados por salinidad ni por sodicidad. Por debajo de los horizontes arados, se encuentra una acumulación cementada de carbonatos que limita la

penetración de las raíces. La velocidad de infiltración es de moderada a alta.

1.4.- Características climáticas

Con respecto a las características climáticas y dada la proximidad con las otras fincas donde se realizaron los ensayos sobre riego, son válidas las mismas consideraciones que las realizadas en el Capítulo I.- Material y métodos: "*Características climáticas*".

1.5.- Características de la plantación

El material vegetal utilizado procedía de viveros comerciales franceses, dado que al tratarse mayoritariamente de nuevas variedades no se disponía de ellas en nuestro país. Las principales características de la plantación de las diferentes variedades se expone en el

Las experiencias se iniciaron en julio 1992, en cuyo momento las variedades se encontraban en su noveno verde (*'Topred Delicious'*, *'Sharpred'*, *'Early Red One'*, *'Oregón Spur'*, *'Red Chief'*), en su séptimo verde (*'Hy Early'*, *'Elite'*) y en su cuarto verde (*'Red Miracle'*).

Variedad	Grupo	Vigor	Patrón	Año de plantación	Marco de plantación	Sistema de formación
<i>Topred</i>	<i>Estándar</i>	Fuerte	<i>M-9</i>	1984	4 x 1,2 m	Eje central
<i>Sharpred</i>	<i>Estándar</i>	Fuerte	<i>M-9</i>	1984	4 x 1,2 m	Eje central
<i>Early R. One</i>	<i>Estándar</i>	Medio	<i>MM-106</i>	1984	4 x 1,6 m	Eje central
<i>Oregón ápur</i>	<i>Spur</i>	Medio-debil	<i>MM- 106</i>	1984	4 x 1,6 m	Eje central
<i>Red Chief</i>	<i>Spur</i>	Debil	<i>MM-106</i>	1984	4 x 1,6 m	Eje central
<i>Elite</i>	<i>Spur</i>	Debil	<i>M-26</i>	1986	4 x 1,2 m	Eje central
<i>Hy Early</i>	<i>Estándar</i>	Fuerte	<i>M-9</i>	1986	4 x 1,2 m	Eje central
<i>Red Miracle</i>	<i>Estándar</i>	Medio	<i>MM- 106</i>	1986	4 x 1,6 m	Eje central

Cuadro 49: Principales características de las plantaciones de las fincas de ensayo.

La orientación de las filas era N-S. Al tratarse de una finca experimental la mayor parte de las variedades existentes actuaban como polinizadoras. El vigor de los árboles era el adecuado, excepto para las variedades *'Red Chief'* y *'Elite'* que al ser variedades *spur* requerían de patrones más vigorosos que los elegidos. Todas las variedades se encontraban en la fase de plena producción.

El hecho de tratarse de patrones clonales y de suelos con una buena homogeneidad, se tradujo en una buena regularidad de los árboles de una misma variedad. Se apreciaron importantes diferencias de vigor entre variedades, dependiendo del tipo de vegetación al que pertenecían.

1.6.- Técnicas culturales

Las técnicas de cultivo aplicadas a la finca experimental, fueron similares a las aplicadas en parcelas comerciales de la zona. El sistema de riego utilizado fué a manta; el agua procedía del Canal d'Urgell. El intervalo medió entre riegos dependió del año y osciló entre 10 y 17 días. El análisis realizado del agua de riego (\\tab 11 [Cuadro 11](#)\\), Capítulo I.- "*Material y métodos*"), puso de manifiesto que las aguas no presentan ninguna limitación para el riego, tanto por lo que se refiere al riesgo de salinización como de alcalinización del

suelo.

La fertilización realizada durante los años 1992, 1993 y 1994, correspondió a la de árboles en plena producción. Las producciones fueron variables entre las diferentes variedades de la finca experimental, oscilando entre 29 y 68 t/ha. El abonado se aplicó de forma localizada mediante reja, realizando dos aportaciones: la primera a mediados de marzo (se aportó el 70% de la dosis de nitrógeno y potasio y el 100% del fósforo), el resto se aplicó a finales de mayo. Las aportaciones medias anuales de fertilizantes se situaron entre los siguientes intervalos: N = 120-130, U.F./ha; P₂ O₅ = 30-45, U.F./ha, K₂ O = 130-150 U.F./ha.

El mantenimiento del suelo combinaba la aplicación de herbicidas en las hileras de los árboles, en una banda de 1,4 m; con el mantenimiento de una capa herbosa de *Festuca sp.* (sembrada al segundo año de plantación) en las interlineas. Como herbicidas, se aplicó a partir del cuarto año una combinación de residuales + contacto a la salida del invierno, y una segunda aplicación de un herbicida residual en octubre-noviembre.

Los tratamientos fitosanitarios se realizaron siguiendo las directrices técnicas de la Agrupación de Defensa Vegetal de l'Urgell (Bellpuig), aplicándose un programa de tratamientos integrados contra las principales plagas y enfermedades. Esporádicamente fue necesaria la realización de tratamientos contra la araña roja y el pulgón.

2.- MÉTODOS

2.1.- Metodología de trabajo

2.1.1. -Plan de trabajo

Para la consecución de los objetivos fijados en el presente trabajo, en lo referido a material vegetal y en base a los medios disponibles descritos en el apartado de "*Material*", se procedió a la realización metodológica del trabajo. El orden cronológico de los experimentos, se planificó con la finalidad de obtener, sucesivamente, datos útiles para la planificación de las siguientes experiencias y datos suplementarios que sirvieran para contrastar los resultados de las anteriores campañas. Las variedades evaluadas durante los años 1992, 1993 y 1994 fueron: '*Topred Delicious*', '*Sharpred*', '*Early Red One*', '*Oregón Spur*', '*Red Chief*', '*Elite*', '*Hy Early*', '*Red Miracle*'

Con el objeto de disponer de forma esquematizada las determinaciones realizadas en las experiencias durante los años 1992, 1993 y 1994 (contenido de antocianos, colorimetría, parámetros de calidad del fruto, etc.), en el *Cuadro 50 (Figura 2-1)* se indica para cada una de las mismas las fechas en que se realizaron los muestreos de precolección y recolección, así como las determinaciones realizadas.

[Figura 2-1](#)

Durante los años y las fechas indicadas en el *Cuadro 50 (ver figura anterior)*, se realizó el seguimiento y las determinaciones de los siguientes parámetros:

Seguimiento del desarrollo del color de los frutos antes de la recolección y en la recolección mediante:

- * Colorímetro triestímulo.
- * Determinación cuantitativa del contenido de antocianos en la piel del fruto.

Determinación de los parámetros de calidad del fruto en el momento de la recolección.

Los aspectos más importantes acerca de las determinaciones realizadas, expuestos por años, son los siguientes:

***1992**

Se iniciaron las experiencias con las 8 variedades expuestas anteriormente. A diferencia de los otros años el seguimiento del color se realizó en campo, y en los mismos frutos (oportunamente marcados en el árbol), en las fechas indicadas en el *Cuadro 50 de la (figura 2-1)*. Los contenidos de antocianos se determinaron en laboratorio y para las mismas fechas en que se midió la colorimetría. En el momento de la recolección se determinó: el color de los frutos con el colorímetro, el contenido de antocianos y los parámetros de calidad en frutos.

***1993**

En 1993 se continuaron las experiencias, diferenciándose con respecto a 1992 en que el color se determinó siempre (prerecolección y recolección) con frutos recolectados. Las determinaciones realizadas para las variedades estudiadas fueron las mismas que en 1992.

***1994**

Se realizaron las mismas experiencias y determinaciones que en 1993, añadiendo un muestreo en prerecolección. Al igual que en 1992 y 1993, se midió el perímetro de los troncos de los árboles a 20 cm del punto de injerto, para el cálculo de el Índice de Productividad.

[Figura 2-2](#)

[Figura 2-3](#)

[Figura 2-4](#)

2.1.2. -Recogida de muestras

Las fechas de recogida de muestras correspondientes a los diferentes años figuran en el *Cuadro 50 de la (figura 2-1)*. Con el objeto de conocer la evolución del color y del contenido de antocianos de las diferentes variedades, así como las diferencias entre las mismas, ambos parámetros se determinaron desde los 45 días (o 30 según años) antes de la recolección.

Los muestreos se realizaron siguiendo una metodología que permitiera que los frutos fueran lo más representativos posible del estado de las variedades. Para cada variedad y para cada fecha de muestreo previa a la recolección se tomaron 5 muestras (correspondientes a 5 árboles o repeticiones) de 7 frutos cada una, es decir un total de 35 frutos. En el momento de la recolección y también para cada variedad se tomaron 5 muestras de 14 frutos cada una, por lo que se dispuso de 70 frutos por variedad. Los frutos se escogieron al azar a una altura de entre 1 y 2 m, procediendo de las cuatro caras del árbol, tanto de la periferia como del interior del árbol. El efecto que pudiera tener la eliminación de varios frutos del árbol antes de la recolección, se ha considerado que tuvo poca influencia sobre el desarrollo de los restantes, al tratarse de muestras de pequeño tamaño, en comparación con el número total de frutos del árbol (Fallahi et al., 1994). Por otra parte el muestreo se realizó en todas las variedades, las caules se encontraban en la fase de plena producción.

El proceso de toma de muestras para la determinación del contenido de antocianos, la determinación de los valores colorimétricos y de los parámetros de calidad y madurez de los frutos, se muestra de forma esquemática en la *Figura 2-5*.

El árbol constituye la parcela elemental o repetición, disponiendo de 5 árboles por cada variedad, tal y como se expone posteriormente en el apartado "*Diseño experimental*".

[Figura 2-5](#)

2.2.- Medida del color de las manzanas

La metodología seguida para la medida del color de las manzanas con el colorímetro, es análoga a la expuesta en el Capítulo I.- Material y métodos: "*Medida del color de las manzanas*", exponiéndose a continuación los aspectos diferenciales.

El color se determinó en las diferentes fechas en que se realizaron los controles, tal y como se indica en el *Cuadro 50 de la figura 2-1*.

En cada fecha, y una vez recolectadas las manzanas se determinó el color de las mismas en base al esquema representado en la *Figura 2-5*, realizando tres lecturas con el colorímetro en la zona ecuatorial del fruto, que fueran representativas del color de cada una de las dos caras del fruto (cara roja y cara menos roja o verde). De la misma zona donde se midió el color, se extrajeron 2 discos de piel para la determinación del contenido en antocianos, lo que permitió seguir la evolución del contenido de antocianos y del color en los mismos frutos. Posteriormente se establecieron las relaciones entre los valores colorimétricos y el contenido de antocianos, por lo que era necesario que fueran ambas variables de la misma parte y de la misma cara del fruto.

Dicho procedimiento fue el utilizado los años 1993 y 1994. En 1992, y para conocer *in situ* la evolución del color de los mismos frutos en la plantación, se marcaron y periódicamente se determinó el color de los mismos, por lo que a pesar de haberse realizado también el análisis de antocianos, ambas variables no pudieron relacionarse.

A partir de las coordenadas colorimétricas primarias L^* , a^* y b^* , proporcionadas por el colorímetro, y en base a las formulas expuestas en el apartado Introducción.- "*Medida del color*", se calculó: el ratio a^*/b^* , el Tono, la Saturación, y el vector espacial de cromaticidad DE^* (*Figura 1-10*). Por tanto, para cada cara de un mismo fruto, se dispone de los parámetros colorimétricos: L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , Tono, Saturación y DE^* .

2.3.- Determinación del contenido de antocianos

Las fechas en las cuales se determinaron los pigmentos antocianos (prerecolección y recolección), así como el número de frutos por variedad, se ha expuesto en el *Cuadro 50* y en la *Figura 2-5*. La determinación cuantitativa se realizó tal y como se ha expuesto en el Capítulo I.- Material y métodos: "*Determinación del contenido de antocianos*".

Para cada una de las dos caras del fruto se obtuvieron los contenidos de antocianos que se han expresado en nmol/cm^2 .

2.4.- Determinación de los parámetros de madurez y calidad en frutos

El esquema de toma de muestras en recolección y las fechas en que se realizaron se expone en el *Cuadro 50* y en la *Figura 2-5*.

Los parámetros de madurez y calidad en frutos, se determinaron en el momento de la recolección de los años 1992, 1993 y 1994.

Los parámetros que se determinaron individualmente para cada uno de los frutos de las 5 muestras correspondientes a cada variedad fueron: peso, calibre, firmeza, y color de la epidermis (apreciación visual del porcentaje de la superficie del fruto coloreada, en 1994).

Los sólidos solubles y la acidez titulable, se determinaron de forma conjunta para los frutos que procedían de un mismo árbol, a partir de los cuales se calculó el ratio sólidos solubles/acidez titulable.

La metodología seguida para determinar dichos parámetros, se ha expuesto en el Capítulo I.- Material y métodos: "*Determinación de parámetros de madurez y calidad en*

frutos".

2.5.- Estimación de la fecha de recolección

Los valores de firmeza, contenido en sólidos solubles, y acidez, se utilizaron para estimar la fecha de recolección de las diferentes variedades, mediante la comparación de los mismos con los recomendados para una recolección comercial de manzanas (Herrero et al., 1982; Duran, 1983; Delhom, 1986; Urbina, 1990). Los días transcurridos desde la plena floración hasta la recolección, han sido similares entre años, oscilando alrededor de 140 días. Se dieron diferencias en la floración, siendo 1994 el año de floración más precoz. La recolección se realizó en una única fecha, debido a que en base a los parámetros utilizados no se dieron diferencias importantes entre variedades. Para cada uno de los años estudiados, todas las variedades se recolectaron en la misma fecha, la cual varió entre años, siendo 1994 el año en que se realizó más precozmente.

2.6.- Diseño experimental y tratamiento estadístico de los datos

2.6.1. -Diseño experimental

En base a las prospecciones del suelo realizadas y al desarrollo de los árboles, se puso de manifiesto la buena homogeneidad de la finca experimental. Para evaluar el comportamiento de las 8 variedades, se estableció un diseño completamente aleatorizado. Para cada variedad se dispuso de 5 árboles (o repeticiones), los cuales se eligieron al azar dentro de las diferentes líneas en que se encontraban, excluyendo las dos líneas periféricas de la parcela, para evitar el efecto borde.

La unidad de muestreo dentro de cada árbol fue el fruto; en pre-recolección y en recolección se escogieron, según el procedimiento indicado anteriormente en el apartado *Plan de trabajo*, muestras lo más representativas posibles del estado de cada variedad, que se recolectaron en las diferentes fechas y siempre de los mismos árboles.

Cada muestra correspondió a un árbol, siendo el tamaño de 7 frutos por árbol (35 frutos por variedad) en los controles de pre-recolección, y de 14 frutos por árbol (70 frutos por variedad) en la recolección, tal y como se refleja en la [Figura 2-5](#). El tamaño de las muestras, el número de árboles muestrados y el método de muestreo, son similares a los utilizados en estudios de coloración realizados por otros autores (Crassweller et al., 1989; Williams et al., 1989; Baugher et al., 1990a; Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1991a,b; Fallahi et al., 1994; Singha et al., 1994; Baugher et al., 1995).

2.6.2. -Tratamiento estadístico

Una vez que se disponía de los datos correspondientes a las diferentes variedades, fechas y años, se procedió a realizar su tratamiento estadístico para dar respuesta a los objetivos planteados en el presente trabajo, el cual realizó con el paquete estadístico SAS (1990a,b). Antes de realizar el análisis de la varianza, se comprobó la homogeneidad de la varianza de los diferentes tratamientos, mediante el análisis de residuos de los valores previstos para todos los valores individuales de las variables estudiadas (antocianos, color, parámetros de calidad etc.). Los residuos obtenidos a medida que se incrementaban los valores previstos, fueron similares para la mayoría de variables estudiadas, distribuyéndose en el gráfico de residuos en forma de una franja horizontal. Cuando ello no ocurrió (en alguna fecha para a*, b, Saturación y DE*), con las variables afectadas, no se procedió a la

separación de medias. El análisis de residuos y su representación gráfica se realizó con los procedimientos: PROC REG, PROC UNIVARIATE (SAS, 1990b) y PROC PLOT del programa SAS.

El efecto de los diferentes factores estudiados (año, variedad, fecha, árbol, fruto, cara) en la coloración de los frutos, se evaluó mediante el **análisis de la varianza**, que permitió conocer el grado de significación de cada uno de los factores principales del modelo y de sus interacciones, obteniéndose también los coeficientes de variación (CV), cuyos valores para la mayoría de parámetros estudiados oscilaron entre el 3,5 y el 24%. Cuando estos superaron el 60%, se calcularon los valores medios pero no se procedió a su separación. Posteriormente, cuando en el análisis de la varianza se detectaron diferencias significativas para la variable estudiada (antocianos, colorimetría, etc.), y a partir de los Cuadrados Medios del Error (CME) se procedió a la separación de medias con el Test de la Mínima Diferencia Significativa (MDS). Este test se ajusta mejor a las características de este tipo de ensayos (Fallahi et al., 1994; Shinga et al., 1994; Baugher et al., 1995). En todos los casos se consideró un nivel mínimo de significación del 5% ($\alpha = 0,05$).

Dado que los ensayos se realizaron durante varios años, los factores utilizados para el análisis de la varianza fueron los siguientes: año, fecha de muestreo, variedad, árbol, fruto y cara. La naturaleza de dichos factores -fijos o aleatorios-, así como la relación entre ellos -cruzados o jerarquizados-, se expone en el [Cuadro 51](#) (tabla 2-3). A partir de dicha información, se elaboraron los **modelos para el análisis de varianza**, con el objeto de conocer la significación de los factores y/o de sus interacciones. El hecho de disponer de interacciones de hasta sexto grado dificulta su interpretación agronómica, por lo que solamente se consideraron interacciones dobles y triples, separando del modelo los restantes factores. Para ello, se realizaron análisis de varianza por años, variedades, fechas y caras.

Factores	Año	Fecha	Variedad	Arbol	Fruto	Cara	Bloque
Año (A)							
Fecha (F)	X						
Variedad (F)	X	X					
Arbol (F)	X	X	J				
Fruto (A)	J	J	J	J			
Cara (A)	X	X	X	X	X		
Bloque (F)	X	X	X	X	X	X	

Cuadro 51: Naturaleza y relación entre los factores utilizados en los modelos del análisis de varianza, en las experiencias con 8 variedades del grupo 'Red Delicious'.

(A) factor aleatorio. (X) : cruzado.

(F) factor fijo. (J) : jerarquizado.

Complementariamente al análisis de varianza realizado de forma conjunta para todas las variedades con el factor variedad, se realizó un análisis de varianza para cada variedad y año en el momento de la recolección de los años 1992, 1993 y 1994, con el objeto de determinar diferencias en cada variedad de los parámetros colorimétricos y los contenidos de antocianos éntre árboles, frutos y caras. Ello permitió conocer la significación de los siguientes factores: árbol, árbol x fruto (jerarquizados), y cara, los tres de gran interés agronómico, dado que aportan información sobre la uniformidad del color de los frutos, de los árboles y de los frutos de un mismo árbol.

Una vez analizados los parámetros colorimétricos y realizado el análisis por años y fechas, se realizó el análisis de varianza de forma conjunta para los años 1992, 1993 y 1994,

introduciendo en el modelo el factor año. Se obtuvo la significación de los factores: año, árbol, *año x árbol x fruto*, cara. También se analizó la significación de otras interacciones dobles de notable interés como: *fecha x variedad*, *año x variedad* y *fecha x año*.

El análisis de la varianza, se realizó con el procedimiento PROC GLM del programa SAS. Para cada una de las variables estudiadas y para las diferentes fechas, se obtuvieron los valores medios, máximos, mínimos y desviación estándar con respecto a la medias. Para ello se utilizó el procedimiento PROC MEANS del programa SAS.

Las variables estudiadas en precolección fueron: contenido de antocianos y valores de cromaticidad (L*, a*, b*, a*/b*, Tono, Saturación, DE*). En el momento de la recolección además de dichas variables, se incluyeron para el análisis de la varianza los parámetros de madurez y calidad en frutos (peso, calibre, firmeza, sólidos solubles, acidez, sólidos solubles/acidez). Debido a las características de la determinaciones realizadas, el factor cara y fruto (cuando se determinaron los sólidos solubles y acidez) no se incluyeron en los modelos para el análisis de la varianza. Debido a la posible influencia del factor año en los parámetros de calidad, se cálculo la significación de la interacción *año x variedad*.

En el momento de la recolección (última fecha de muestreo), se determinaron de forma conjunta, para los años en que se realizaron los ensayos y para cada uno de los mismos, las relaciones entre los contenidos de antocianos y los valores colorimétricos (L*, a*, b*, a*/b*, Tono, Saturación y DE*) correspondientes a los mismos frutos -media de las dos caras- y también de forma separada para cada variedad y cara. El procedimiento seguido en el **análisis de regresión** (lineal múltiple y simple) fué análogo al expuesto en el Capítulo I.- Material y métodos: "*Tratamiento estadístico*".

Para cada ensayo en particular, se aportará más información sobre el análisis estadístico de los datos al exponer los resultados del mismo.

III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó el comportamiento agronómico y especialmente la coloración de los frutos, de 8 variedades de manzana del grupo '*Red Delicious*' durante los años 1992, 1993 y 1994. De las 8 variedades, 5 pertenecen al subgrupo *estándar*, son las siguientes: '*Topred Delicious*', '*Sharpred*', '*Early Red One*', '*Hy Early*' y '*Red Miracle*'; mientras que: '*Red Chief*', '*Oregón Spur*' y '*Elite*', pertenecen al subgrupo *spur*. Sus principales características se han descrito en el apartado Material y métodos: "*Variedades*" del presente capítulo.

De las variedades evaluadas, '*Topred Delicious*' se encuentra ampliamente difundida, dado que fué la que inicialmente sustituyó en las nuevas plantaciones a '*Starking Delicious*'. '*Sharpred*' y '*Elite*', son dos variedades que en países como Estados Unidos, han conocido una notable difusión, mientras que en la zona de Lleida apenas se han introducido. Lo mismo puede decirse de '*Hy Early*', dado que solamente ha tenido un relativo interés en Italia y en Estados Unidos. Tanto '*Red Chief*' como '*Early Red One*', han sido las que en países como Italia, Francia o Estados Unidos, han conocido un importante desarrollo; y en la zona frutícola de Lleida han sido las más plantadas del grupo '*Red Delicious*', por aportar una buena coloración de los frutos. Finalmente '*Red Miracle*', es una variedad de alta coloración, y forma parte de un grupo de nuevas variedades obtenidas los últimos años como: '*Scarlet Spur*', '*Dixiered*', '*Vallée Spur*', '*Super Chief*', '*Morgan Spur*', '*It*', etc., que presentan como principal característica, un intenso color rojo de los frutos y una coloración precoz, incluso en climas poco favorables a la coloración.

Se dispone de numerosa información acerca del comportamiento de variedades '*Red Delicious*', en lo referido a coloración de los frutos, parámetros de calidad, producción,

productividad, y conservación en frigorífico. Dicha información procede mayoritariamente de países donde estas variedades se cultivan ampliamente, como Estados Unidos, y en menor escala de: Italia, Francia y España (Decourtye et al., 1970; Fisher et al., 1970; Westwood et al., 1970; 1981; 1989; Ingle, 1972; Bartram et al., 1979; Baugher et al., 1979; Lord et al., 1979; 1980; Lord et al., 1980; Polesello et al., 1980; Ferree et al., 1982; Le Lezec et al., 1983; Dozier et al., 1984; Ketchie, 1984; 1988; Masseron, 1986; Dennis, 1987; Iglesias, 1989; Crasweller et al., 1985; 1989; 1991; 1990; Singha et al., 1991a,b; 1994; Warrington et al., 1990; Graell et al., 1993; Trillot et al., 1993; Fallahi et al., 1994; Warner, 1995c).

1.- FECHAS DE FLORACIÓN EN LOS AÑOS 1992, 1993, 1994

Durante los años 1992, 1993 y 1994, se registró el período de floración de las 8 variedades objeto de estudio, para ello se utilizaron los estadios fenológicos propuestos por Fleckinger. Los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 52](#) (tabla 2-4).

Al tratarse de variedades del mismo grupo, el período de floración no presentó diferencias importantes entre las mismas, aunque en las variedades *spur* por su hábito de vegetación la floración fué más agrupada. Se observó diferencias importantes en el inicio, plena y final de la floración entre años; así, mientras en 1992 y 1993, las fechas fueron similares entre los dos años y correspondieron a las de un año normal, en 1994 las fechas, tanto de inicio como de plena y final de la floración, se anticiparon entre 10 y 15 días con respecto a 1992 y 1993, lo que se tradujo también en un adelanto de la recolección.

Variedad	Inicio floración			Plena floración			Final floración		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994	1992	1993	1994
<i>Topred</i>	8/4	7/4	25/3	13/4	13/4	2/4	27/4	25/4	11/4
<i>Sharpred</i>	10/4	7/4	26/3	14/4	14/4	1/4	28/4	24/4	10/4
<i>Early Red One</i>	9/4	8/4	25/3	14/4	13/4	31/3	26/4	25/4	10/4
<i>Oregón Spur</i>	10/4	8/4	25/3	15/4	15/4	31/3	26/4	25/4	8/4
<i>Red Chief</i>	9/4	8/4	25/3	15/4	14/4	29/3	26/4	25/4	7/4x
<i>Elite</i>	9/4	8/4	25/3	16/4	14/4	30/3	28/4	25/4	9/4
<i>Hy Early</i>	10/4	9/4	26/3	17/4	15/4	1/4	25/4	25/4	11/4
<i>Red Miracle</i>	10/4	8/4	25/3	15/4	14/4	30/3	24/4	24/4	10/4
INTERVALO	9-10/4	7-9/4	25-26/3	13-17/4	13-15/4	29/3-2/4	24-28/4	24-23/4	7-11/4

Cuadro 52: Períodos de floración de 8 variedades 'Red Delicious' durante los años 1992, 1993 y 1994.

El período medio de floración, se anticipó entre 3 y 5 días con respecto a la variedad 'Golden Delicious', y entre 2 y 4 días con respecto a 'Mondial Gala', lo que implica que las variedades del grupo 'Red Delicious' sean más sensibles a las heladas primaverales. A pesar de ello, en ninguno de los tres años del período 1992-1994, las producciones se vieron afectadas por helada.

2.- ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LOS AÑOS 1992, 1993 Y 1994

Las temperaturas tienen una gran importancia en la síntesis de antocianos, y por tanto en la coloración de los frutos (Proctor, 1974; Tan, 1979; Bröhler, 1984; Saure, 1990). La

evolución de las mismas, en el período previo a la recolección, fué análoga a la de las experiencias realizadas con riego refrescante, expuestas en el Capítulo I. Las temperaturas máximas y mínimas diarias, correspondientes al período 9 de agosto-11 de septiembre de los años 1992, 1993 y 1994 (período previo a la recolección de las 8 variedades '*Red Delicious*' estudiadas), se han representado en la *Figura 2-6*. Las temperaturas correspondientes a 1993, tanto máximas como mínimas, fueron inferiores a las de 1994, mientras que las de 1992 fueron las propias de un año normal y similares a 1994; solamente en el período 15-25 de agosto de 1992, las mínimas fueron más elevadas de lo normal.

Figura 2-6

El salto térmico diario, o diferencia entre temperaturas máximas y mínimas diarias, en el período previo a la recolección, se ha citado por algunos autores por su influencia en la síntesis de antocianos y consecuentemente en el color, asociándose generalmente mayor color cuanto mayor es el salto térmico (Tan, 1979; 1980). Fué por ello que se calculó para el período 21 de agosto-11 de septiembre de los años 1992, 1993 y 1994. Los resultados obtenidos se han expuesto en el Capítulo I.- "*Resultados y discusión*", variedades '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*'.

En función de lo anteriormente expuesto, puede deducirse, que para el período estudiado, y comparando los años 1992 y 1994 con 1993, fué más importante para el color de los frutos, la diferencia entre temperaturas mínimas diarias, que el salto térmico acumulado entre los mismos en el período previo a la recolección; por lo que 1993 fué el año en el que se obtuvo una mayor coloración de los frutos. Resultados análogos se han obtenido en los ensayos de riego refrescante (Capítulo I), y son coincidentes a los expuestos por otros autores, con respecto a la influencia de las temperaturas en el color (Faragher et al., 1984; Saure, 1990).

Al igual que en las experiencias de riego por aspersión, variaciones en las temperaturas llevaron siempre implícitas variaciones en la humedad relativa, observándose una estrecha dependencia y una relación inversa entre ambas variables.

3.- EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS COLORIMÉTRICOS DEL FRUTO

Las diferentes variedades objeto de estudio, presentan importantes diferencias en la intensidad de la coloración de los frutos, en la precocidad de aparición del color y en la homogeneidad del mismo, tanto en el árbol como entre árboles. Con el objeto de determinar dichas variaciones, se introdujo en el modelo del análisis de varianza los factores árbol, fruto y cara; realizándose las determinaciones de color, en las dos caras de los frutos correspondientes a cada uno de los 5 árboles de cada variedad.

De las 8 variedades, '*Topred Delicious*', '*Hy Early*', '*Sharpred*', '*Red Chief*' y '*Elite*' presentaron una coloración con estrías mas o menos evidentes, especialmente en la cara sombreada; mientras que el color de '*Early Red One*' y '*Red Miracle*' fué uniforme y sin estrías. En la experiencia se pretendía conocer, además del efecto de la variedad en el color de los frutos, hasta que punto las determinaciones del color con un colorímetro reflejaban la apreciación visual del mismo. En diversas experiencias se ha puesto de manifiesto, que la relación entre ambas variables, es inferior en variedades de coloración estriada, con respecto a variedades de coloración uniforme (Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993).

A continuación, se exponen los resultados de la determinación de los parámetros colorimétricos, mediante el colorímetro portátil triestímulo Minolta CR-200, para los años 1992, 1993 y 1994, para las diferentes fechas de muestreo de cada una de las 8 variedades. Las mediciones de color se realizaron los años 1993 y 1994 en los frutos recolectados,

mientras que en 1992 se siguió la evolución del color *in situ* (en el campo). Posteriormente se procedió a la determinación del contenido de antocianos. Los parámetros colorimétricos determinados para cada año, fecha y cara del fruto fueron: L*, a* y b* (proporcionados directamente por el colorímetro); a partir de los cuales se calcularon a*/b*, Tono, Saturación y DE*. Su interpretación desde el punto de vista de color y su cálculo se ha expuesto en el apartado Introducción: "*El color y su medida*".

La evolución de los parámetros colorimétricos en el tiempo fué la siguiente:

* Disminución: L*, b*, Tono, Saturación y DE*.

* Aumento: a*/b* y a*.

En cuanto al parámetro L* o luminosidad, se ha observado siempre una relación inversa con la coloración, en el sentido que cuanto más color presenta una variedad (valores altos de a*/b* y bajos del Tono), menores son los valores de L*; resultados análogos han sido expuestos por otros autores (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1994). De los diferentes parámetros determinados: L*, a*/b* y Tono, fueron los que posteriormente en el análisis de regresión proporcionaron los mejores valores de los coeficientes de determinación (R²), y es por ello que se han expuesto en los [Cuadro 53](#), [54](#) y [55](#).(ver tablas 2-5, 2-6, 2-7).

Los coeficientes de variación oscilaron mayoritariamente entre el 5,1% y el 31,2%, siendo en general próximos al 10%, correspondiendo los mayores a a*, y los menores a DE* y L*. Cuando superaron el 60% y/o la varianza no fué homogénea (vease en Material y métodos: "*Tratamiento estadístico*"), lo que ocurrió en algunas fechas con el parámetro a*, se calcularon las medias pero no se realizó su separación. Comparando los años, los menores coeficientes correspondieron a 1993, que fué el año de mejor coloración, seguido por 1992 y por 1994. La cara verde presentó siempre valores más elevados que la cara roja.

*** Resultados año 1992**

Se determinaron los parámetros colorimétricos para cada cara del fruto en las siguientes fechas: 28/julio, 10/agosto, 24/agosto y 7/septiembre (recolección). Los resultados obtenidos para L*, a*/b* y Tono, se exponen en el [Cuadro 53](#) (tabla 2-5), donde figura la separación de medias para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. En el mismo cuadro se exponen los valores correspondientes al fruto entero y a las dos caras.

En el momento de la recolección y considerando la cara roja, se dieron diferencias significativas en los parámetros L*, a*/b* y Tono. Para el Tono, el menor valor (indica una mayor coloración) correspondió a '*Red Miracle*' y el mayor a '*Topred Delicious*'. La variedad con el mayor valor de a*/b* (más color) fué '*Red Miracle*', siendo '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*' las de menor valor. Con el resto de variedades se obtuvieron, para los tres parámetros, valores intermedios a '*Topred Delicious*' y '*Red Miracle*', siendo '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Elite*' las que en base a los parámetros evaluados proporcionaron una mayor coloración, mientras que para '*Hy Early*' y '*Sharpred*', el color fué inferior. Los menores valores de L* correspondieron a las variedades de mayor coloración, siendo también '*Red Miracle*' inferior al resto de variedades. Análogamente ocurrió con el vector espacial de cromaticidad DE*, cuya evolución en el tiempo fué similar a L*. Teniendo en cuenta la totalidad del fruto y la cara verde, el comportamiento fué similar al expuesto anteriormente para la cara roja, existiendo siempre diferencias entre '*Red Miracle*' y el resto de variedades.

1992	Variedad	26/julio			10/agosto			24/agosto			7/septiembre (recolección)		
		Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*	<i>Red Miracle</i>	44,6 ^{+c}	40,4 ^{++d}	48,8 ^{++c}	44,9 ^{+a}	41,2 ^{++e}	48,6 ^{++d}	34,3 ^{+e}	31,9 ^{++e}	36,7 ^{++c}	31,2 ^f	30,1 ^d	32,2 ^e
	<i>E Red One</i>	62,2 b	56,1 bc	68,4ab	57,2bc	50,8bcd	63,6 bc	47,2 d	42,2 d	52,3 b	39,3de	37,4 c	41,1 d
	<i>Red Chief</i>	61,6 b	55,0 c	68,3 ab	57,4 bc	52,1 bcd	62,8 bc	48,1 d	42,7 d	53,6 b	41,0 cde	37,9 c	44,0 cd
	<i>Elite</i>	62,9 b	57,8 bc	68,0 b	53,8 c	48,3 d	59,3 c	48,2 d	43,9 cd	52,5 b	38,4 e	36,5 c	40,4 d
	<i>Oregón Spur</i>	63,5 b	58,0 bc	69,0 ab	59,4 b	53,0 bc	65,9 ab	51,0 cd	45,6 c	56,4 ab	42,1 cd	39,5 c	44,6 bcd
	<i>Sharpred</i>	62,9 b	57,7 bc	68,2 b	54,2 c	49,2 cd	59,3 c	56,3 ab	50,6 ab	61,9a	45,9 ab	43,3 ab	48,5 ab
	<i>Hy Early</i>	65,0 ab	61,6 ab	68,5 ab	59,2 b	53,9 b	64,5 ab	52,7 bc	48,9 b	56,5 ab	43,8 bc	40,1 bc	47,5 abc
	<i>Topred</i>	68,2 a	65,4 a	71,1 a	64,3 a	59,3 a	69,4 a	57,3 a	52,3 a	62,3 a	48,3 a	44,7 a	52,0 a
a*/b*	<i>Red Miracle</i>	1,4 a	1,9 a	0,89 a	1,5 a	1,9 a	1,1 a	2,4 a	2,6 a	2,1 a	2,9 a	3,2 a	2,7 a
	<i>E Red One</i>	-0,04 bc	0,28 bc	-0,36 b	0,42 bc	0,93 b	-0,07 bc	1,3 be	1,7 bc	0,82 b	2,3 b	2,5 b	2,2 b
	<i>Red Chief</i>	0,21 b	0,69 b	-0,26 b	0,61 b	1,1 b	0,11 b	1,4 b	1,9 b	0,93 b	2,3 b	2,7 b	2,0 b
	<i>Elite</i>	-0,06 bc	0,23 bc	-0,35 b	0,53 b	1,0 b	0,06 bc	0,90 cd,	1,4 cd	0,54 bc	2,0 bc	2,3 bc	1,7 bc
	<i>Oregón Spur</i>	-0,09 bc	0,22 bc	-0,40 b	0,30 bc	0,78 bc	-0,17 bc	1,0 bcd	1,6 bc	0,48 bc	2,0 bc	2,2 bc	1,9 b
	<i>Sharpred</i>	-0,06 bc	0,23 bc	-0,36 b	0,50 b	0,95 b	0,06 bc	0,64 de	1,1 de	0,18 c	1,8 c	2,1 cd	1,4 cd
	<i>Hy Early</i>	-0,08 bc	0,13 c	-0,30 b	0,32 bc	0,76 bc	-0,11 bc	0,70 de	1,0 e	0,38 bc	1,7 cd	2,0 cd	1,3 de
<i>Topred</i>	-0,29 c	-0,17 c	-0,41 b	0,04 c	0,40 c	-0,31 c	0,49 e	0,87 e	0,11 c	1,3 d	1,7 d	1,0 e	
Tono (*)	<i>Red Miracle</i>	56,9 c	61,3 d	52,5 b	42,2 c	29,0 c	55,4 c	21,9 f	21,7 e	22,2 e	17,8 d	17,7 c	17,9 e
	<i>E Red One</i>	90,7 ab	75,7 bc	107,7a	72,6 ab	51,0 b	94,2 ab	44,8 de	32,1 cd	57,6 cd	24,7 c	21,6 bc	27,8 d
	<i>Red Chief</i>	82,9 b	61,2 c	104,5a	64,3 b	44,4 bc	84,2 b	40,6 e	28,0 de	53,2 d	25,3 c	21,5 bc	29,2 d
	<i>Elite</i>	83,9 ab	78,1 bc	109,7a	67,2 b	47,3 b	87,1 ab	52,3 bcd	38,7 bc	65,9 bcd	28,8 bc	24,2 b	33,5 bcd
	<i>Oregón Spur</i>	95,3 ab	78,8 abc	111,8a	76,8 ab	54,0 b	99,5 ab	50,4 cde	34,3 cd	66,5 abcd	27,9 bc	24,5 b	31,3 cd
	<i>Sharpred</i>	93,9 ab	78,1 bc	109,7a	68,7 b	50,3 b	87,1 ab	62,4 ab	44,0 b	80,7 ab	32,0 b	26,5 b	37,5 bc
	<i>Hy Early</i>	94,8 ab	83,2 ab	106,4a	75,5 ab	54,5 b	96,5 ab	58,8 abc	45,1 b	72,5 abc	31,5 b	27,0 b	36,0 b
	<i>Topred</i>	105,8 a	99,4 a	112,2a	89,1 a	71,4 a	106,8a	69,3 a	54,1 a	84,5a	41,6 a	32,7 a	50,5 a

Cuadro 53: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), de 8 variedades, 'Red Delicious', en diferentes fechas de muestreo y en la recolección, año 1992. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

(⁺)Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(⁺⁺)Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(^{*})Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(^{**})Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En las dos fechas previas a la recolección (10 de agosto y 24 de agosto), se dieron también diferencias entre variedades, que indican que la coloración de los frutos se fué incrementando progresivamente, y que ya en estadios precoces, se dieron importantes diferencias entre variedades. Es de destacar, que aquellas que en la recolección presentaron valores colorimétricos que indicaban mayor color, fueron las que lo adquirieron más precozmente. Destacar en este sentido 'Red Miracle'; también 'Early Red One', 'Red Chief', 'Oregón Spur' y en menor medida 'Sharpred', dado que presentaron valores que difirieron de

'Hy Early' y 'Topred Delicious'. Ello pone de manifiesto, una mayor precocidad en la adquisición del color en variedades mejoradas desde el punto de vista de coloración, como 'Red Miracle', 'Early Red One', 'Red Chief' y 'Oregón Spur'. Análogos resultados se obtuvieron por Singha et al. (1994), con las variedades de elevada coloración 'Ace' y 'Oregón Spur II', con respecto a 'Nured' y 'Red Prince' de menor coloración.

El primer muestreo se realizó el 26 de julio, 46 días antes de la fecha de recolección, con el objetivo de conocer si las variedades mejoradas desde el punto de vista del color, presentaban una mayor precocidad en la adquisición del mismo, respecto a otras ya conocidas y que se tomaron de testigo, como 'Topred Delicious'. En dicha fecha, se dieron diferencias entre variedades en todos los parámetros evaluados. En base al ratio a^*/b^* y al Tono, tanto para el fruto entero como por caras, 'Red Miracle' proporcionó valores que indican una mayor coloración de los frutos, o lo que es lo mismo una mayor precocidad en la aparición del color. El menor color correspondió en general a 'Topred Delicious' y 'Hy Early', a las que correspondieron también los mayores valores de L^* .

*** Resultados año 1993**

Se determinaron los parámetros colorimétricos en las siguientes fechas: 11/agosto; 24/agosto y 7/septiembre (recolección). La época de recolección correspondió a la de un año normal. Los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 54](#) (tabla 2-6), y fueron similares a los de 1992, en cuanto al comportamiento de las variedades. Sin embargo, y tal como ocurrió con el contenido de antocianos, todos los parámetros indican una mayor coloración con respecto a 1992 y 1994.

En el momento de la recolección se dieron diferencias significativas para L^* , a^*/b^* y Tono, que indican la mayor coloración para 'Red Miracle' y la menor para 'Topred Delicious' y 'Hy Early', situándose en posición intermedia 'Red Chief', 'Early Red One', 'Elite' y 'Oregón Spur'.

Los menores valores de L^* correspondieron a las variedades de mayor coloración, obteniéndose resultados similares a los del Tono.

En las dos fechas previas a la recolección (11 y 24 de agosto), se dieron también diferencias, siendo 'Red Miracle' diferente al resto de variedades para todos los parámetros colorimétricos. Al igual que ocurrió en la recolección, no se dieron diferencias entre 'Topred Delicious' y 'Hy Early', siendo éstas las que proporcionaron los mayores valores de L^* y del Tono, y los menores del ratio a^*/b^* . Entre las variedades 'Early Red One', 'Red Chief' y 'Oregón Spur', no se detectaron diferencias, proporcionando en general valores que indicaban una mayor coloración que 'Elite' y 'Sharpred'.

1993	Parám.	Variedad	11/agosto			24/agosto			7/septiembre (recolección)		
			Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*		<i>R Miracle</i>	39,7d	36,1 e	43,2 e	38,1 e	35,0 d	41,1 e	31,5 d	30,5 d	32,6 d
		<i>E Red One</i>	50,5 c	45,0 d	56,0 d	48,0 d	44,7 c	51,4 d	38,2 c	36,2 c	40,1 c
		<i>Red Chief</i>	50,8 c	45,3 d	56,3 d	49,0 cd	44,6 c	53,4 d	39,2 bc	36,5 c	41,9 bc
		<i>Elite</i>	55,7 b	48,5 bc	63,0 ab	51,4 c	45,8 c	56,9 bc	38,9 bc	35,4 c	42,5 bc
		<i>Oregón S.</i>	52,3 c	46,5 cd	58,0 cd	50,6 cd	46,2 c	55,0 cd	39,0 c	36,4 c	41,6 c
		<i>Sharpred</i>	56,0 b	50,9 b	61,2 bc	54,5 b	49,6 b	59,4 ab	41,6 b	39,1 b	41,0 b
		<i>Hy Early</i>	60,3 a	54,7 a	65,9 a	57,1 a	52,1 ab	62,2 a	45,3 a	41,9 a	48,7 a
		<i>Topred</i>	60,1 a	55,7 a	64,6 a	57,3 a	53,6 a	61,1 a	45,8 a	43,9 a	47,8 a
a*/b*		<i>R. Miracle</i>	2,2 a	2,6 a	1,7 a	2,3 a	2,8 a	1,9 a	3,0 a	3,2 a	2,9 a
		<i>E Red One</i>	0,76 bc	1,3 bc	0,22 bc	1,1 b	1,4 bc	0,71 b	2,4 bc	2,8 b	2,0 bc
		<i>Red Chief</i>	0,93 b	1,5 b	0,36 b	1,2 b	1,7 b	0,71 b	2,3 bc	2,7 b	1,9 bc
		<i>Elite</i>	0,55 c	1,2 bc	-0,10 de	0,9 bc	1,4 bc	0,38 c	2,1 bc	2,5 b	1,7 c
		<i>Oregón S</i>	0,91 b	1,6 b	0,22 bc	1,1 b	1,5 b	0,77 b	2,3 bc	2,6 b	2,1 b
		<i>Sharpred</i>	0,50 c	1,0 c	0,10 cd	0,71 c	1,2 c	0,22 cd	2,0 c	2,3 c	1,7 c
		<i>Hy Early</i>	0,13 d	0,56 d	-0,29 e	0,39 d	0,78 d	0,02 d	1,4 d	1,7 d	1,0 d
		<i>Topred</i>	0,10 d	0,43 d	-0,22 e	0,33 d	0,57 d	0,10 d	1,3 d	1,6 d	1,1 d
Tono (°)		<i>R Miracle</i>	25,8 e	21,1 d	30,5 e	23,7 d	19,9 c	27,5 d	18,2 c	17,3 d	19,0 c
		<i>E Red One</i>	59,4 bcd	40,4 bc	78,4 cd	47,7 c	36,6 b	57,5 c	25,1 b	21,4 bc	28,9 b
		<i>Red Chief</i>	52,9 d	35,0 c	70,8 d	45,6 c	33,3 b	57,9 c	24,1 b	20,0 c	28,3 b
		<i>Elite</i>	68,1 b	41,2 bc	95,0 ab	54,6 bc	37,0 b	72,3 b	27,9 b	21,8 bc	33,9 b
		<i>Oregón</i>	56,9 cd	35,9 c	77,8 cd	45,7 c	35,9 b	55,6 c	24,6 bc	22,9 bc	26,3 bc
		<i>Sharpred</i>	65,8 bc	46,4 b	85,2 bc	58,1 b	41,3 b	74,9 b	28,2 b	24,3 b	32,2 b
		<i>Hy Early</i>	84,0 a	61,8 a	106,3 a	73,8a	55,6 a	92,0 a	39,6 a	31,4ca	47,9 a
		<i>Topred</i>	85,0 a	68,0 a	102,1 a	75,1 a	60,9 a	89,3 a	39,7 a	32,9 a	46,6 a

Cuadro 54: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al trigo entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), en diferentes fechas de muestreo y en la recolección, año 1993. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

*** Resultados año 1994**

Los parámetros colorimétricos se determinaron en las siguientes fechas: 8/agosto, 19 de agosto, 31/agosto, y 6 /septiembre (recolección). La recolección se anticipó con respecto a la de un año normal. Con respecto a 1993, se añadió una fecha de muestreo antes de la recolección, debido a que en 1992 y 1993 se produjo un incremento importante del color en el período previo a la recolección. En el [Cuadro 55](#), se exponen los valores correspondientes a los parámetros L*, a*/b* y Tono, en las diferentes fechas de muestreo.

En el momento de la recolección, las diferencias entre variedades fueron más importantes que en las dos fechas previas, dándose diferencias significativas para los tres parámetros. Para L* y Tono, y al igual que ocurrió en 1992 y 1993, los menores valores correspondieron a la variedad '*Red Miracle*', lo que indica una mayor coloración, y los mayores a '*Topred Delicious*'.

Para dichos parámetros, no se dieron diferencias entre '*Red Chief*', '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*' que presentaron valores superiores a '*Red Miracle*' y inferiores a '*Sharpred*' y '*Elite*'. Análogos resultados se han obtenido con a*/b*, correspondiendo los menores valores a '*Topred Delicious*' y '*Hy Early*' (menor color), y no existiendo diferencias entre '*Hy Early*', '*Sharpred*' y '*Elite*'; el mayor valor correspondió también a '*Red Miracle*'.

1994	Variedad	8/agosto			19/agosto			31/agosto			6/septiembre (recolección)		
		Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
L*	<i>Red Miracle</i>	50,1 [†] d	41,1 ^{††} e	59,1 ^{††} c	42,3 ^{††} d	47,9 ^{††} c	36,7 ^{††} c	38,0 [†] d	33,8 ^{††} d	42,2 [†] d	37,5 [†] d	33,3 ^{††} e	42,0 ^{††} d
	<i>E Red One</i>	61,7 c	53,6 cd	69,8 ab	54,9 c	46,7 c	63,2 b	48,7 c	41,7 e	55,7 c	45,7 c	37,5 d	54,0 c
	<i>Red Chief</i>	61,1 c	52,3 d	69,9 ab	53,9 c	44,6 c	63,3 b	49,3 bc	41,2 e	57,4 c	46,9 c	39,1 cd	54,8 c
	<i>Elite</i>	62,8 bc	55,1 bc	70,6 a	55,3 c	48,6 bc	61,9 b	55,0 a	46,7 ab	63,2 ab	50,2 b	40,7 c	59,7 ab
	<i>Oregón Spur</i>	61,1 c	54,2 cd	67,9 b	54,0 c	45,7 c	62,4 b	49,7 bc	42,3 bc	56,9 c	46,2 c	38,6 d	53,8 c
	<i>Sharpred</i>	64,2 ab	57,3 b	71,2 a	54,5 bc	44,9 abc	64,2 b	53,6 ab	46,9 ab	60,4 bc	51,5 b	44,6 b	58,4 b
	<i>Hy Early</i>	65,9ca	60,1 a	71,7 a	61,6 ab	54,7 ab	68,6 a	58,0 a	50,2a	65,7a	52,3 b	44,4 b	60,2 ab
	<i>Topred</i>	66,0 a	61,0 a	71,0 a	61,2a	55,3 a	67,2 a	55,5 a	47,6a	63,5 ab	55,5 a	48,8 a	62,2 a
a*/b*	<i>Red Miracle</i>	1,1 a	2,0 a	0,10 a	1,8a	2,6 a	1,1 a	2,6 a	3,1 a	2,1 a	2,7 a	3,3 a	2,2 a
	<i>E Red One</i>	0,11 cd	0,61 cd	-0,39 bc	0,73 bc	1,4 b	0,03 bc	1,2 b	1,8 b	0,57 b	1,6 b	2,6 bc	0,70 bc
	<i>Red Chief</i>	0,31 b	0,96 b	-0,34 bc	0,88 b	1,7 b	0,07 b	1,3 b	2,1 b	0,52 b	1,7 b	2,5 b	1,1 b
	<i>Elite</i>	0,04 de	0,52 d	-0,43 bc	0,61 bcd	1,2 bcd	0,02 bc	0,80 b	1,4 b	0,25 c	1,1 cd	1,9 cd	0,40 cd
	<i>Oregón Spur</i>	0,25 bc	0,78 bc	-0,28 b	0,84 b	1,6 b	0,09 b	1,3 b	2,1 b	0,52 b	1,6 bc	2,4 b	0,90 b
	<i>Sharpred</i>	0,10 cd	0,56 cd	-0,35 bc	0,71 bcd	1,3 bc	0,12 b	0,94 b	1,5 b	0,35 bc	1,2 cd	1,8 d	0,65 bc
	<i>Hy Early</i>	-0,08 e	0,28 e	-0,45 c	0,22 d	0,70 d	-0,26 c	0,54 b	1,1 b	-0,01 c	1,0 de	1,7 de	0,33 cd
	<i>Topred</i>	-0,11 e	0,20 e	-0,42 bc	0,21 cd	0,72 cd	-0,29 c	0,59 b	1,2 b	-0,02 c	0,75 e	1,3 e	0,17 d
Tono (°)	<i>Red Miraele</i>	54,6 f	24,5 d	84,80 b	33,0 c	46,5 ab	19,6 c	18,8 c	13,2 e	24,4 c	21,6 f	16,8 f	26,3 f
	<i>E Red One</i>	86,0 cde	60,8 b	111,2 a	64,2 b	36,8 b	91,6 b	47,4 b	27,9 cd	66,8 b	41,2 de	24,5 cde	57,9 de
	<i>Red Chief</i>	79,1 e	49,3 c	108,8 a	58,0 b	30,7 b	86,2 b	45,9 b	26,4 d	65,5 b	35,6 e	21,0 ef	50,3 de
	<i>Elite</i>	88,7 bc	63,8 b	113,6 a	65,5 b	41,8 ab	89,2 b	65,5 a	37,7 ab	92,0 a	49,6 bc	28,5 bcd	70,7 bc
	<i>Oregón Spur</i>	80,3 de	55,1 bc	105,5 a	58,9 b	32,8 b	85,0 b	45,2 b	25,7 d	64,7 b	35,9 e	22,9 de	48,9 e
	<i>Sharpred</i>	86,5 cd	63,7 b	109,3 a	63,1 b	41,2 ab	84,9 b	53,4 b	34,5 bc	72,4 b	45,2 cd	29,5 bc	61,0 cd
	<i>Hy Early</i>	95,0 ab	75,7 a	114,4 a	79,6 a	56,1 a	103,2 a	68,1 a'	45,2 a	91,1 a	52,7 b	32,1 b	73,4 ab
	<i>Topred</i>	96,0 a	79,3 a	112,8 a	80,5 a	56,7 a	104,3 a	68,3 a	39,5 ab	91,7 a	60,7 a	39,7 a	81,8 a

Cuadro 55: Valores medios y separación de medias de los parámetros colorimétricos, correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), de 8 variedades '*Red Delicious*' en diferentes fechas de muestreo y en la recolección, año 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

([†])Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(^{††})Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(^{†††})Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(^{††††})Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En la fecha previa a la recolección (31 de agosto) se dieron también diferencias, siendo '*Red Miracle*' diferente del resto de variedades para todos los parámetros, tanto para las dos caras como para el fruto entero. Para L* y Tono, no existieron diferencias entre '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' y '*Elite*', proporcionando éstas valores superiores, que indicaban una menor coloración que el resto de variedades. Entre '*Red Chief*', '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*', no se dieron diferencias y sus valores fueron diferentes a '*Elite*' y '*Sharpred*'.

El ratio a*/b* presentó menor variación entre variedades; correspondiendo los menores valores (cara verde) a '*Topred Delicious*', '*Hy Early*', '*Elite*' y '*Sharpred*'

Tanto en la primera fecha (8 de agosto) como en la segunda (19 de agosto), y al igual que en 1992 y 1993, existieron diferencias de colorimetría entre variedades, que indican que la coloración de los frutos fué más precoz en variedades con mejor color en la recolección como: '*Red Miracle*', '*Early Red One*' o '*Red Chief*', con respecto a '*Topred Delicious*' o '*Hy Early*'.

Sin embargo, y como ocurrió en 1992, las diferencias entre variedades fueron menos acusadas que en la recolección y que en la fecha previa, especialmente para la cara verde del fruto. Los valores obtenidos para '*Red Chief*', '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*', fueron similares, aunque '*Red Chief*' (8 de agosto) presentó valores de a*/b* superiores a '*Early Red One*' y próximos a '*Oregón Spur*' que indican una mayor precocidad en la coloración de estas dos variedades.

Con el objeto de conocer la distribución del color en el fruto o su homogeneidad, las determinaciones se realizaron de forma separada para ambas caras del fruto, metodología ya

utilizada por otros autores con el mismo objetivo (Singha et al., 1991a; Graell et al., 1993). En la *Figura 60*, se ha representado la evolución de a^*/b^* correspondientes a la cara roja y a la cara verde de las 8 variedades, y de forma separada para los años 1992, 1993 y 1994. Ello permite, por una parte establecer comparaciones entre años, y por otra conocer la distribución del color en el fruto y consecuentemente la uniformidad del mismo. Este último aspecto es de interés, dado que una mayor uniformidad del color en variedades '*Delicious*' implica mayor color y por tanto mejor precio. Todos los años, '*Red Miracle*' fué la variedad con menores diferencias entre caras, debido a su elevada coloración y a la precocidad de la misma, lo que supone una distribución uniforme del color en el fruto. En el resto de variedades, los valores obtenidos para la cara roja, fueron entre dos y tres veces superiores a los de la cara verde, dependiendo del año, a excepción de las variedades de menos coloración como '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*'.

Si se comparan las variedades, y teniendo en cuenta la cara roja, el mayor valor de a^*/b^* correspondió todas las fechas y años a '*Red Miracle*', mientras que '*Topred Delicious*' y '*Hy Early*' proporcionaron valores inferiores a '*Red Chief*', '*Oregón Spur*' y '*Early Red One*'. Con '*Sharpred*' y '*Elite*', se obtuvieron valores intermedios. Para la cara verde los resultados obtenidos fueron similares, si bien las diferencias entre variedades fueron menores. También los mayores valores correspondieron a '*Red Miracle*', seguida por '*Red Chief*', '*Oregón Spur*' y '*Early Red One*'.

Si se comparan los tres años, se observa que en 1992 y 1993 los valores obtenidos fueron similares, y en algunos casos superiores, a los de 1994. Análogamente ocurrió con los contenidos de antocianos en los ensayos de riego refrescante; lo que pudo ser debido a que en 1994 se dieron temperaturas más elevadas en el período previo a la recolección.

Figura 2-7

Los resultados indican que la mayor precocidad en la adquisición de color correspondió a '*Red Miracle*', seguida por '*Red Chief*', '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*'. Además '*Red Miracle*' mostró, ya desde la primera fecha de muestreo valores altos del ratio a^*/b^* , y en algunos casos (como en 1993) próximos a los obtenidos en la recolección. Para el resto de variedades, y en especial para la cara verde, se partió de valores muy inferiores con respecto a los de la recolección y más próximos entre variedades.

Si se comparan las dos caras del fruto, las menores diferencias correspondieron a '*Red Miracle*' y '*Red Chief*', lo que indicaría una mayor uniformidad del color. Para el resto de variedades, a medida que se aproximó la recolección, se redujeron las diferencias entre las dos caras del fruto. La significación del factor cara se ha analizado en el Apartado 5 del presente capítulo.

Para todos los parámetros colorimétricos objeto de estudio, tanto en el fruto entero como por caras, se produce una evolución progresiva de los mismos a partir de mediados de agosto, incrementando (a^*/b^*) o una disminuyendo (L^* y Tono). Así mismo, las variedades que presentaron una coloración más precoz, fueron también las que en la recolección alcanzaron valores de colorimetría que indicaban una mayor coloración de los frutos, como ocurrió de forma destacable con '*Red Miracle*' y también con '*Red Chief*' y '*Early Red One*'. Contrariamente, en base a todos los parámetros analizados, las variedades de menor coloración y menor precocidad de la misma, fueron '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*'. Estos resultados coinciden con los expuestos por otros autores para variedades '*Red Delicious*' (Singha et al., 1991a;1994), según los cuales, variedades de elevada coloración, presentaban valores de los parámetros de cromaticidad que indicaban mayor color en las dos caras del fruto.

El análisis conjunto de los parámetros colorimétricos correspondientes al fruto entero y por caras, tanto en la recolección como en las fechas previas, pone de manifiesto que se

dieron diferencias entre variedades en las características del color (intensidad, uniformidad) y en la precocidad de aparición. Variedades mejoradas como: '*Red Miracle*', '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Oregón Spur*', proporcionaron valores colorimétricos que indican una mayor coloración con respecto a variedades que habitualmente presentan problemas en la misma, como '*Topred Delicious*' o '*Hy Early*'. Dichos resultados son similares a los expuestos por otros autores (Baugher et al., 1990; Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993), que observaron una menor coloración de '*Topred Delicious*', y '*Sharpred*' con respecto a '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Oregón Spur*'.

4.- EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE ANTOCIANOS

Los antocianos son los principales pigmentos responsables de la coloración roja de las manzanas, por lo que mayores contenidos de los mismos se asocian asociados a una mayor coloración de los frutos (Chalmers et al., 1973; Singha et al., 1991a,b;1994). La determinación cuantitativa del contenido de antocianos se realizó, al igual que los parámetros colorimétricos, en las diferentes fechas de muestreo, para las dos caras del fruto de las 8 variedades. Los coeficientes de variación obtenidos, oscilaron entre el 18% y el 34%, correspondiendo los mayores a los años 1994 y 1992, y los menores a 1993; los correspondientes a la cara roja fueron menores que los de la cara verde, debido a la mayor homogeneidad del color en la cara roja. Los resultados obtenidos para los años 1992, 1993 y 1994, se exponen en el [Cuadro 56](#) (tabla 2-8).

Se dieron variaciones importantes entre años, especialmente en la recolección. Las diferencias entre variedades, fueron similares a las expuestas en el apartado anterior para los parámetros colorimétricos. En **1992**, el mayor contenido de antocianos, teniendo en cuenta la cara roja y el fruto entero, correspondió a la variedad '*Red Miracle*', alcanzándose valores superiores a los de otras variedades de buena coloración, como '*Early Red One*' o '*Red Chief*', las cuales tuvieron un comportamiento similar y superior, según fechas, a '*Elite*' y '*Oregón Spur*'. Los menores valores correspondieron a '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*'.

En el muestreo realizado el día 26 de julio de 1992, se detectaron diferencias que indican variaciones en la precocidad de coloración de las diferentes variedades. Los mayores contenidos correspondieron a '*Red Miracle*' y '*Red Chief*', esta última no se diferenció de '*Early Red One*'.

Con el resto de variedades, se obtuvieron valores inferiores aunque no diferieron entre ellas, presentando valores muy bajos para la cara verde, que indican la nula coloración de la mayoría de variedades en estadios precoces de desarrollo del fruto. Estos resultados coinciden con los expuestos por Singha et al. (1994), según los cuales variedades que en la recolección tenían una elevada intensidad coloración como '*Oregón Spur II*' y '*Ace*', adquirieron ésta en estadios más precoces.

Año/Varie.	26/julio			10/agosto			24/agosto			7/septie. (recolección)		
	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV	Total	CR	CV
1992												
<i>R Miracle</i>	8,0 ⁺ a	11 ⁺⁺ a	5,0 ⁺⁺ a	17 [*] a	21 ⁺⁺ a	13 ⁺ a	32 ⁺ a	36 ⁺⁺ a	28 ⁺⁺ a	52 [*] a	63 ⁺⁺ a	40 ⁺⁺ a
<i>E Red One</i>	6,7 a	10,2 b	3,3 b	6,7 b	10,2 b	3,1 b	12,1 b	18,1 b	6,1 b	31,4 b	42,8 b	19,9 b
<i>Red Chief</i>	6,8 a	9,2 ab	4,4 ab	5,7 bc	9,7 b	1,7 bc	11,7 b	16,1 b	7,3 b	26,5 bc	35,8 b	17,2 bc
<i>Elite</i>	0,50 b	0,90 c	0,20 c	4,7 bc	8,5 bc	1,0 c	10,6 bc	15,7 b	5,6 b	22,3 cd	24,9 c	19,6 b
<i>Oregón S.</i>	1,8 b	3,6 bc	0,01 c	3,9 cd	6,2 c	1,5 bc	7,7 bcd	8,1 c	7,3 b	19,7 cde	26,0 c	13,3 bcd
<i>Sharpred</i>	0,80 b	1,6 c	0,01 c	4,3 c	6,1 c	2,4 bc	5,8 cd	9,1 c	2,6 b	16,5 def	22,3 cd	10,6 cd
<i>Hy Early</i>	0,23 b	0,30 c	0,16 c	6,1 bc	9,1 b	3,1 b	5,3 d	8,4 c	2,1 b	14,6 ef	20,6 cd	8,6 d
<i>Topred</i>	0,05 b	0,11 c	0,01 c	1,6 d	2,4 d	0,80 c	3,9 d	5,9 c	1,8 b	11,3 f	14,9 d	7,8 d
1993												
	-	-	-	10/agosto			25/agosto			10/septie. (recolección)		
<i>R Miracle</i>	-	-	-	31,1 a	38,3 a	24,0 a	38,6 a	52,2 a	25,1 a	76,2 a	89,3 a	63,2 a
<i>E Red One</i>	-	-	-	16,6 b	23,3 b	9,9 b	14,9 b	19,4 b	10,5 b	42,8 b	50,6 b	35,1 b
<i>Red Chief</i>	-	-	-	12,4 c	17,2 c	7,7 c	13,9 bc	17,8 b	10,1 b	39,3 b	53,3 b	25,3 c
<i>Elite</i>	-	-	-	10,7 c	15,7 c	5,7 d	12,2 c	17,1 b	7,1 c	32,4 c	39,6 cd	25,1 c
<i>Oregón S</i>	-	-	-	13,0 c	18,4 c	7,6 c	13,7 bc	17,6 b	9,8 b	39,9 b	46,9 bc	32,9 b
<i>Sharpred</i>	-	-	-	7,1 d	10,8 d	3,5 e	7,4 d	10,7 c	4,1 d	22,0 d	26,5 e	17,5 d
<i>Hy Early</i>	-	-	-	6,5 d	9,4 d	3,6 e	7,7 d	10,3 c	5,0 cd	21,9 d	26,4 e	17,4 d
<i>Topred</i>	-	-	-	4,9 d	7,6 d	2,3 e	6,4 d	8,5 e	4,3 d	18,8 d	25,5 e	12,1 e
1994												
	8/agosto			19/agosto			31/agosto			6/septie. (recolección)		
<i>R Miracle</i>	12,9 a	19,2 a	6,7 a	26,3 a	33,1 a	19,6 a	36,2 a	48,6 a	23,9 a	47,0 a	61,4 a	32,6 a
<i>E Red One</i>	5,2 b	9,3 b	1,1 b	13,0 bc	20,4 b	5,6 b	18,5 b	28,1 b	9,0 b	31,5 b	45,9 b	17,1 b
<i>Red Chief</i>	4,2 bc	7,3 b	1,2 b	13,4 bc	20,3 b	6,4 b	19,4 b	30,2 b	8,6 b	31,7 b	48,3 b	15,1 b
<i>Elite</i>	4,0 bc	6,6 bc	1,4 b	8,4 bc	13,1 b	3,7 b	8,8 c	13,7 c	3,8 b	15,9 cd	26,3 d	5,4 cd
<i>Oregón S</i>	4,8 bc	8,9 b	0,80 bc	11,0 bc	16,5 b	5,4 b	17,9 b	26,4 b	9,4 b	25,4 c	37,5 c	13,4 bc
<i>Sharpred</i>	3,1 cd	5,9 bcd	0,20 cd	10,6 bc	14,9 b	6,1 b	11,8 c	18,8 c	4,8 b	17,1 cd	28,0 d	6,2 cd
<i>Hy Early</i>	1,7 d	3,1 cd	0,30 cd	8,5 bc	12,0 b	5,1 b	11,6 c	18,2 c	5,0 b	16,3 c	24,3 d	8,4 bcd
<i>Topred</i>	1,4 d	2,7 d	0,01 d	7,2 c	11,3 b	3,1 b	8,3 c	12,7 c	3,8 b	8,9 d	14,5 e	3,4 d

Cuadro 56: Valores medios y separación de medias de los contenidos de antocianos (expresados en nmoles/cm²), correspondientes al fruto entero (Total), cara roja (CR) y cara verde (CV), de 8 variedades '*Red Delicious*' en diferentes fechas de muestreo y en la recolección; años 1992, 1993 y 1994. Tratamientos con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

(⁺)Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

(⁺⁺)Cada valor corresponde a la media de 35 frutos.

(^{*})Cada valor corresponde a la media de 140 frutos.

(^{**})Cada valor corresponde a la media de 70 frutos.

En **1993**, las condiciones climáticas previas a la recolección se caracterizaron por temperaturas mínimas más bajas de lo habitual, lo que se tradujo en contenidos más elevados de antocianos, y en una mayor coloración de todas las variedades, con respecto a 1992 y a 1994; debido a la influencia directa de las temperaturas en la síntesis de antocianos (Hulme, 1970; Proctor, 1974; Tan, 1979; 1980). En la recolección, el mayor contenido de antocianos correspondió también a la variedad '*Red Miracle*', no existiendo diferencias entre '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Oregón Spur*'; mientras que '*Sharpred*', '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*' presentaron los menores contenidos.

En **1994**, las temperaturas antes de la recolección fueron más elevadas de lo habitual, lo que pudo influir en que las concentraciones de antocianos fueran las más bajas de los tres años estudiados. Los resultados obtenidos fueron similares a los de 1992, siendo '*Topred Delicious*' y '*Red Miracle*', las variedades de menor y de mayor coloración, respectivamente.

Teniendo en cuenta los tres años y las dos caras del fruto, puede concluirse que la mayor coloración, en base al contenido de antocianos, correspondió a la variedad '*Red Miracle*', destacando del resto de variedades. A continuación se situaron '*Early Red One*' y '*Red Chief*', ambas de comportamiento similar y superiores al resto de variedades, mientras que con '*Oregón Spur*' y '*Elite*', se obtuvieron valores intermedios. Los menores contenidos, considerando el fruto entero, correspondieron a: '*Sharpred*', '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*'.

Para todos los años, las mayores diferencias entre variedades las proporcionó la cara roja; resultados que son análogos a los obtenidos con los parámetros colorimétricos.

El análisis de los contenidos de antocianos en las fechas previas a la recolección, es de interés dado que aporta información de notable interés agronómico, acerca de la precocidad de la coloración de los frutos. Los resultados obtenidos son similares a los que se acaban de exponer para la recolección, destacando también '*Red Miracle*' del resto de variedades, no existiendo en general diferencias entre: '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Oregón Spur*', las cuales tuvieron un comportamiento similar. Los menores contenidos correspondieron a '*Elite*', '*Sharpred*', '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*'.

Las diferencias entre variedades fueron, en general, inferiores si se considera la cara verde.

Durante los tres años, el incremento más importante del contenido de antocianos en las dos caras del fruto, se produjo todos los años a partir de mediados de agosto. Estos resultados confirman las observaciones realizadas por otros autores, según los cuales, el desarrollo del color se produce fundamentalmente durante las 2 o 3 semanas previas a la recolección (Recasens, 1982; Arakawa, 1988b; Saure, 1990; Lancaster, 1992; Singha et al., 1994). Según Chalmers et al. (1973), es en dicha fecha cuando se produce la transición de estados inmaduros a maduros, tanto desde el punto de vista de la coloración como de maduración, por lo que dichos autores utilizaron el contenido de antocianos como índice de madurez en variedades rojas. A pesar de ello, en variedades de coloración muy precoz como '*Red Miracle*', es probable que dicha transición se produzca ya en los primeros estadios de desarrollo del fruto (Arakawa et al., 1986), por lo que el contenido de antocianos no puede utilizarse como índice de madurez.

El análisis de los contenidos de antocianos en las dos caras del fruto, es de notable interés, dado que permite conocer diferencias entre variedades en la uniformidad del color. Los contenidos de antocianos en la cara verde, en las dos primeras fechas de los años 1992 y 1994, fueron muy bajos, dado que es cuando se inicia la coloración, por lo que las diferencias entre la cara roja y la verde fueron muy importantes, llegando a ser hasta 8 veces superiores ('*Elite*', 10/08/1992), lo que indica que la síntesis de antocianos se inicia en la cara más expuesta a la iluminación. Esto puede considerarse normal en muchas variedades, y evidencia que la síntesis de antocianos es fotodependiente, hecho puesto también de manifiesto por otros autores (Bishop et al., 1975; Proctor et al., 1976; Mancinelli, 1985).

Arakawa et al. (1986) y Arakawa (1988b), señalaron que la respuesta a la luz y la capacidad de coloración dependía además de otros factores (temperatura, luz, etc.), de la variedad. En la recolección, y a excepción de '*Red Miracle*', los contenidos de la cara roja fueron aproximadamente el doble que en la cara verde, mientras que en '*Red Miracle*' al presentar una alta coloración, se dieron pocas diferencias entre caras. Ello pone de manifiesto, que cuanto mayor es la facilidad de coloración de las variedades, menores son las diferencias en el contenido de antocianos entre caras; por lo que en variedades con una elevada aptitud a la coloración, la síntesis de antocianos no es fotodependiente, como lo demuestra el hecho, observado también por otros autores (Singha et al., 1991a,b; Fisher et al., 1989), que los frutos de algunas variedades como '*Scarlet Spur*', '*Oregón Spur II*', o '*Ace*', coloreaban en zonas interiores del árbol completamente sombreadas.

Para ilustrar las diferencias de color entre variedades y entre caras, en la *Figura 2-8*, se ha representado la evolución en el tiempo del contenido de antocianos correspondiente a la cara roja y a la verde de las 8 variedades, durante los años 1992, 1993 y 1994.

Figura 2-8.

La distribución de antocianos en ambas caras del fruto fué similar los tres años, sin embargo, en años de menor coloración como 1994, las diferencias de color entre caras fueron más importantes que en 1992 y 1993, debido a que los contenidos de antocianos fueron también inferiores. La significación del factor cara se calculó para cada variedad, año y fecha,

exponiéndose los resultados obtenidos en el apartado siguiente.

En base a lo anteriormente expuesto, puede concluirse que se dieron diferencias significativas entre variedades. La variedad *'Red Miracle'*, fué la que presentó la mayor coloración, la más precoz y la uniforme en el fruto, incluso en años como 1994 con temperaturas poco favorables al color. En el mismo sentido, también *'Early Red One'* y *'Red Chief'* mostraron un buen comportamiento, obteniendo frutos con una buena coloración todos los años. Contrariamente ocurrió con *'Topred Delicious'* y en menor medida con *'Hy Early'* y *'Sharpred'*, para las cuales el color en 1994 no fué suficiente para obtener frutos de una adecuada calidad comercial; para *'Oregón Spur'* y *'Elite'* se obtuvieron valores intermedios. Dichos resultados, son similares a los expuestos en el apartado anterior para los parámetros colorimétricos.

Experiencias realizadas por Blizzard et al. (1988); Baugher et al. (1990); Ketchie (1990), Singha et al. (1991a,b;1994), Graell et al. (1993), pusieron de manifiesto la menor coloración de *'Topred Delicious'* y de *'Sharpred'*, con respecto a otras variedades de obtención más reciente como *'Red Chief'*, *'Early Red One'*, *'Scarlet Spur'*, *'Oregón Spur II'*, *'Morgan Spur'* y *'Ace'*. En los principales países productores de variedades *'Red Delicious'*, cada vez es mayor el interés por la introducción de variedades de elevada coloración, debido a los mayores requerimientos en color exigidos para las normas de calidad (Baugher et al., 1990; Warner, 1995c).

5.- SIGNIFICACIÓN DE FACTORES PRINCIPALES Y DE SUS INTERACCIONES

Los resultados que se acaban de exponer, han permitido detectar diferencias de color entre variedades. Sin embargo, la metodología de muestreo elegida, teniendo en cuenta para cada variedad los factores árbol, fruto y cara, permite obtener una información interesante desde el punto de vista agronómico mediante el estudio de determinados factores principales y de sus interacciones. Para ello, se realizó un análisis de varianza para cada variedad, año y fecha de muestreo, introduciendo los factores árbol, fruto y cara, y calculando la significación de cada uno de dichos factores y de sus interacciones. Los resultados obtenidos en la recolección para el contenido de antocianinas y para los parámetros colorimétricos L*, a*/b* y Tono se exponen en el [Cuadro 57](#) (tabla 2-9).

En variedades rojas la no significación de los factores árbol, *árbol x fruto* y cara, indica mayor uniformidad del color entre los árboles, mayor homogeneidad del color de los frutos de un árbol, y mayor uniformidad del color del fruto (menores diferencias entre caras), respectivamente. Todas ellas constituyen por tanto, características de notable interés y deseables en variedades *'Red Delicious'*, dado que implican de forma global una mayor coloración y, consecuentemente, una mejor calidad de los frutos.

Factor	Variedad	1992			1993			1994		
		Anto.	a*/b*	Tono	Anto.	a*/b*	Tono	Anto.	a*/b*	Tono
ARBOL	<i>Red Miracle</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>E Red One</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Red Chief</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Elite</i>	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	ns	ns
	<i>Oregón S</i>	ns	ns	*	ns	*	ns	**	ns	*
	<i>Sharpred</i>	**	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns
	<i>Hy Early</i>	*	ns	ns	*	**	*	*	*	ns
	<i>Topred</i>	*	ns	*	*	ns	*	*	*	**
ARBOL x FRUTO	<i>Red Miracle</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>E Red One</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Red Chief</i>	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Elite</i>	**	**	*	*	ns	ns	*	**	*
	<i>Oregón S</i>	ns	*	*	ns	**	*	*	**	*
	<i>Sharpred</i>	**	**	**	ns	*	ns	**	*	*
	<i>Hy Early</i>	*	**	ns	**	**	**	*	**	*
	<i>Topred</i>	**	**	**	**	**	**	*	**	**
CARA	<i>Red Miracle</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>E Red One</i>	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	<i>Red Chief</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
	<i>Elite</i>	*	*	ns	**	**	ns	*	**	**
	<i>Oregon S.</i>	*	*	ns	**	**	**	**	**	**
	<i>Sharpred</i>	**	*	**	**	**	**	**	**	**
	<i>Hy Early</i>	*	**	*	**	**	**	**	**	**
	<i>Topred</i>	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Cuadro 57: Significación de los factores: árbol, árbol x fruto, y cara; para el contenido de antocianos del fruto, a*/b* y Tono, de 8 variedades 'Red Delicious', en los años 1992, 1993 y 1994, en la recolección. Se indica el nivel de significación de cada factor.

Anto.: Contenido de antocianos.

ns: no significativo.

(*), (**): nivel de significación

=0,05 y =0,01; respectivamente.

Los resultados expuestos en el Cuadro 57 (ver tabla anterior), indican que para los parámetros analizados (antocianos, a*/b* y Tono), el factor cara fué el que más significación presentó para la mayoría de variedades, mientras que para el factor árbol no hubo significación para muchas variedades. La significación del factor cara implica diferencias de coloración entre las dos caras del fruto. De forma general, hubo significación para las variedades: 'Topred Delicious', 'Hy Early', 'Sharpred', 'Oregon Spur' y 'Elite', y no la hubo para: 'Red Miracle', 'Early Red One' y 'Red Chief', por lo que estas últimas serían las de coloración más uniforme del fruto. Resultados similares se obtuvieron para la interacción de los factores arbol x fruto, siendo en 1994 cuando se produjo un mayor número de significaciones, al tratarse de un año de difícil coloración; la no significación de 'Red Miracle', 'Early Red One' y 'Red Chief', para la mayoría de parámetros y años, indica que estas variedades fueron las de color más uniforme en el conjunto del árbol.

Para el factor árbol, la mayoría de parámetros no fueron significativos de forma consistente para todos años. Hubo significación para algunos parámetros en 'Topred Delicious', 'Hy Early' y 'Sharpred', lo que indica que para los mismos, dichas variedades presentaron diferencias de color entre árboles.

Para todos los años y factores, fué la variedad 'Red Miracle', la que en ningún caso presentó significación, lo que indica una buena homogeneidad del color entre árboles, entre frutos y entre caras, a lo que habría que añadir su buena coloración y la precocidad de

la misma. En base a los resultados expuestos, y teniendo en cuenta los años 1992, 1993 y 1994, la mayor regularidad del color entre árboles y la mejor uniformidad en el árbol y en el fruto, correspondió a la variedad '*Red Miracle*', seguida por '*Red Chief*' y '*Early Red One*', mientras que para las variedades: '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*', hubo menos regularidad, situándose '*Elite*' y '*Oregón Spur*' en una posición intermedia.

Para estudiar los factores fruto, árbol y cara en el período 1992-1994, se introdujo en el análisis de varianza el factor año. Este factor, fué significativo para la mayoría de variedades, excepto para '*Red Miracle*', lo que indica que los valores de dichos parámetros se vieron afectados por el año. Considerando los valores medios de los años 1992, 1993 y 1994, para el contenido de antocianinas, a^*/b^* y Tono, no existió significación para el factor árbol en ninguna de las 8 variedades. La significación de la interacción triple año x árbol x fruto, indica que se dieron diferencias entre frutos para un mismo árbol y año, lo que ocurrió para todas las variedades, a excepción de '*Red Miracle*', '*Early Red One*' y '*Red Chief*'. La interacción año x cara, fué significativa para las variedades de menor coloración, lo que implica que el color de las caras se vió afectado por el factor año.

A continuación se analizan de forma detallada algunas de las interacciones dobles de mayor interés, como son: *fecha x variedad*, *fecha x año*, y *año x variedad*. Dicho análisis se realiza de forma conjunta para los años 1992, 1993 y 1994; tanto para los parámetros colorimétricos como para los contenidos de antocianinas.

6.- ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS AÑOS 1992, 1993 Y 1994

6.1.- Parámetros colorimétricos

Al igual que ocurrió en las experiencias de riego refrescante, en los tres años estudiados el incremento más importante de la concentración de antocianinas y, consecuentemente, la mayor evolución de los parámetros colorimétricos, tuvo lugar durante los 20 días previos a la recolección.

Como resultado global de la experiencia, interesa comparar de forma conjunta los resultados obtenidos durante los tres años del ensayo, para las 8 variedades evaluadas. Los valores medios de a^*/b^* y Tono, correspondientes al período 1992-1994, se han representado gráficamente en la *Figura 62*, donde el incremento de a^*/b^* y la disminución del Tono, indican una mayor coloración a medida que se aproxima la recolección. Para L^* , se obtuvieron resultados similares a los del Tono, en cuanto a diferencias entre variedades. Contrariamente, el ratio a^*/b^* (al igual que a^*) presentó un incremento en el tiempo y valores más elevados para las variedades de mayor coloración.

Figura 2-9

En base a los parámetros a^*/b^* y Tono, y al igual que ocurrió analizando separadamente los años 1992, 1993 y 1994, '*Red Miracle*', se diferenció claramente del resto de variedades por su elevada coloración. A continuación '*Early Red One*' y '*Red Chief*', fueron las de mayor color, mientras que el menor color correspondió a '*Topred Delicious*' y '*Hy Early*' (sin diferencias entre ambas). '*Sharpred*', '*Elite*' y '*Oregón Spur*', se situaron en posición intermedia, a pesar de que en la mayoría de fechas y parámetros '*Oregón Spur*' no presentó diferencias con '*Red Chief*' y '*Early Red One*'. El parámetro a^* se incrementó a lo largo del tiempo (datos no expuestos), y fué mas elevado en las variedades de mayor coloración, resultados no coincidentes con los expuestos por Singha et al. (1991a,b); mientras que b^* siguió una evolución similar al Tono y a L^* , siendo mayor en las variedades de menor color.

El seguimiento de los parámetros colorimétricos en fechas previas a la recolección, ha permitido evaluar el efecto del tiempo. Para ello, se introdujo en el análisis estadístico el factor fecha, y se calculó para el período 1992-1994, la interacción de los factores *fecha x variedad*, tanto para los parámetros colorimétricos como para el contenido de antocianinas; considerando las tres fechas de muestreo comunes a 1992, 1993 y 1994. Dicha interacción fue significativa, tanto para a^*/b^* como para el Tono (*Figura 2-9*), lo que indica que la evolución de dichos parámetros colorimétricos a lo largo del tiempo (a medida que se acercaba la recolección), se vió afectada por la variedad.

Polesello y Gorini propusieron, en 1980, la clasificación de variedades '*Red Delicious*', en función del rango de variación de los valores conjuntos de a^*/b^* y del Tono, que es la que se ha seguido para clasificar las 8 variedades objeto de estudio. Los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 58](#) (*tabla 2-10*), donde se pone de manifiesto que los mayores valores de a^*/b^* y los menores del Tono correspondieron a la variedad '*Red Miracle*' (grupo 1), de alta coloración. El menor color correspondió a '*Topred Delicious*' y a '*Hy Early*' (grupo 4), precedidas por '*Oregón Spur*', '*Sharpred*' y '*Elite*' (grupo 3). Los valores de '*Early Red One*' y '*Red Chief*', correspondieron al grupo 2, que fueron las variedades de más color despues de '*Red Miracle*'. Los valores del Tono, se encuentran para todas las variedades en el primer cuadrante del espacio de color CIELAB (1976).

Grupo	Rango de		Variedades
	Tono	a^*/b^*	
1	< 20°	> 2,5	<i>Red Miracle</i>
2	20° - 30°	2 - 2,5	<i>Early Red One, Red Chief</i>
3	30° - 40°	1,5 - 2	<i>Oregón Spur, Sharpred</i> <i>Elite</i>
4	> 40°	< 1,5	<i>Hy Early Topred</i>

Cuadro 58: Clasificación de 8 variedades '*Red Delicious*' según los parámetros colorimétricos Tono y a^*/b^* , en el momento de la recolección. Los resultados corresponden a los valores medios de los años 1992, 1993 y 1994.

Los resultados expuestos son similares a los obtenidos por otros autores (Polesello et al., 1980; Graell et al, 1993), según los cuales, las variedades de mayor coloración como '*Turner*', '*Early Red One*', o '*Red Chief*', pertenecieron a los grupos 1 y 2; mientras que las de menor color: '*Topred Delicious*', '*Hy Early*', '*Sharpred*', se incluyeron en los grupos 3 y 4. Ello indica la utilidad de la medición del color mediante un colorímetro portátil, dado que proporciona una estimación rápida del color y permite establecer diferencias entre variedades en base a los parámetros colorimétricos (Singha et al., 1991a,b; 1994), tanto en el momento de la recolección como en fechas previas.

En las experiencias realizadas, 1992 fué un año con temperaturas normales; 1993 con temperaturas mínimas inferiores a las de 1994; en 1994 las condiciones climaticas fueron las propias de un año más caluroso de lo habitual. Con el objeto de comparar de forma conjunta los resultados obtenidos durante los tres años del ensayo, en el modelo de análisis de varianza se introdujó el factor año. Se calcularon también los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de las 8 variedades para los años 1992, 1993 y 1994, y para cada una de las fechas en que se realizaron las determinaciones. Los resultados obtenidos se exponen en el [Cuadro 59](#) (*tabla 2-11*), donde se indica también la significación de la interacción *fecha x año*.

Parámetro	Año	DETERMINACIONES (FECHAS)			Interacción FECHA x AÑO
		1 : Primera	2 : Segunda	3 : Recolección	
L*	1992	56,4 b	49,4 b	41,3 b	
	1993	53,2 c	50,0 b	39,8 c	
	1994	61,6 a	55,2 a	48,1 a	
a*/b*	1992	0,51 b	1,0 b	2,1 b	
	1993	0,76 a	1,2 a	2,3 a	
	1994	0,22 c	0,8 c	1,5 c	
Tono	1992	69,5 b	50,1 b	29,0 b	
	1993	62,2 c	52,1 b	26,0 b	
	1994	83,2 a	62,9 a	42,9 a	

Cuadro 59: Valores de los parámetros colorimétricos correspondientes a la media de las 8 variedades para los años 1992, 1993 y 1994, y significación de la interacción *fecha x año*. Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0,05$).

(* *): nivel de significación $\alpha=0,01$.

En la primera fecha, las diferencias entre los tres años fueron significativas para todos los parámetros estudiados; mientras que en la segunda, no existieron diferencias entre 1992 y 1993 para L* y el Tono, siendo los tres años diferentes para a* y a*/b*. En la recolección, los valores de L*, a* y a*/b*, fueron diferentes para los tres años, mientras que para el Tono no existieron diferencias entre 1992 y 1993. La interacción *fecha x año*, fué altamente significativa para todos los parámetros colorimétricos estudiados.

Puede concluirse que 1993 fué el año con una mayor coloración, seguido por 1992 y finalmente por 1994. La significación de la interacción de los factores *fecha x año*, pone de manifiesto la influencia del factor año, y concretamente de las temperaturas, en los parámetros colorimétricos y en el color de los frutos.

Se realizó también un estudio comparativo, de los valores de colorimetría correspondientes a cada una de las tres fechas comunes a los años 1992, 1993 y 1994 (fecha 1, fecha 2 y recolección). En la *Figura 2-10*, se exponen los valores del ratio a*/b* y del Tono, de cada una de las 8 variedades, en el momento de la recolección de los años 1992, 1993 y 1994. Para los tres años, los mayores valores de a*/b* y los menores del Tono, correspondieron a la variedad '*Red Miracle*', mientras que '*Topred Delicious*' presentó los menores valores de a*/b* y los mayores del Tono. Las variedades '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Oregón Spur*', proporcionaron valores intermedios. Es de destacar, que en variedades con elevada coloración como '*Red Miracle*', los valores obtenidos en los tres años, presentaron poca variación, en comparación con otras de menor color '*Topred Delicious*' o '*Sharpred*'. Consecuentemente, la interacción *año x variedad* fué significativa, lo que indica que para dichos parámetros, el comportamiento de las variedades dependió del factor año, o que la respuesta de las variedades, no fué la misma los tres años.

Figura 2-10

Lo expuesto anteriormente pone en evidencia la influencia de los factores fecha, año y variedad en los parámetros colorimétricos del fruto. Si éstos se analizan conjuntamente para los tres años, puede concluirse, que variedades como '*Red Miracle*', '*Early Red One*' y '*Red Chief*', y años como 1993, proporcionaron valores de colorimetría que indican una mayor coloración de los frutos.

6.2.- Contenido de antocianinas

Al igual que ocurrió con parámetros de cromaticidad, el incremento más importante de la concentración de antocianinas tuvo lugar entre 10 y 20 días antes de la recolección, que es

cuando tiene lugar la coloración de variedades rojas de manzana (Chalmers et al., 1973; Recasens, 1982; Arakawa, 1988b; Saure, 1990; Lancaster, 1992; Singha et al., 1994).

Debido al efecto de las temperaturas en la síntesis de antocianinas (Hulme, 1970; Proctor, 1974; Tan, 1979; Recasens et al., 1983), y teniendo en cuenta que se produjeron variaciones importantes entre años, era de interés conocer el efecto de los factores fecha y año en el contenido de antocianinas, para lo cual se introdujeron en el análisis de la varianza. En la *Figura 2-11*, se ha representado la evolución de la concentración de antocianos correspondiente a la media de los años 1992, 1993 y 1994, para las diferentes fechas y variedades, y también los contenidos de cada variedad correspondientes a los años 1992, 1993 y 1994, en el momento de la recolección. Para ambos casos, se ha indicado la significación de las interacciones *fecha x variedad* y *año x variedad*, las cuales fueron significativas, lo que indica que el comportamiento de las variedades, se vió influenciado por la fecha de muestreo y por el año, o que la respuesta a dichos factores dependió de la variedad.

Figura 2-11

Al igual que con la colorimetría, los mayores contenidos de antocianos para las tres fechas correspondieron a la variedad '*Red Miracle*' y los menores a: '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*'. Para '*Early Red One*', '*Red Chief*' y '*Oregón Spur*', se obtuvieron valores superiores al resto de variedades, mientras que para '*Elite*' fueron intermedios. Al igual que en las experiencias realizadas por Singha et al. (1994), las variedades que en la recolección eran más rojas ('*Red Miracle*', '*Early Red One*', etc.), adquirieron el color más precozmente.

Desde el punto de vista del color y al igual que ha sido expuesto por otros autores (Dennis, 1987; Crassweller et al., 1989; Fisher et al., 1989; Baugher et al., 1990a), el hábito de crecimiento *spur* no estuvo relacionado con una mayor coloración, dado que, por ejemplo, '*Early Red One*' y '*Red Miracle*' pertenecen al grupo *estándar* y '*Red Chief*' al *spur*, y todas ellas presentaron una elevada coloración.

El estudio, tanto de los parámetros colorimétricos como del contenido de antocianos, indican que la mayor coloración correspondió a '*Red Miracle*' y la menor a '*Topred Delicious*' y '*Early Red One*'. En posición intermedia se situaron, con mayor color: '*Early Red One*' y '*Red Chief*', seguidas de: '*Oregón Spur*', '*Elite*' y '*Sharpred*'. Estos resultados no son coincidentes a los obtenidos por Ketchie (1990), en los cuales el mejor color correspondió a: '*Early Red One*', '*Topred Delicious*', '*Sharpred*' y '*Red Chief*', sin apreciarse diferencias entre las mismas. En experiencias realizadas por Baugher et al. (1990), el comportamiento fué similar, dado que '*Red Chief*' fué la variedad con una mayor coloración, mientras que '*Sharpred*', '*Oregón Spur*' y '*Topred Delicious*', presentaron un color intermedio.

En los apartados anteriores se ha puesto en evidencia la importancia del factor año, tanto en los parámetros colorimétricos como en el contenido de antocianos, correspondiendo la mayor coloración a 1993, debido a las diferencias en las temperaturas mínimas diarias entre los tres años en el período previo a la recolección, como se ha expuesto en Apartado 2 del presente capítulo ("*Análisis de las condiciones climáticas*").

Las temperaturas mínimas correspondientes a 1993 fueron inferiores a las de 1994 y 1992. Estos resultados son coincidentes con los expuestos por otros autores (Recasens, 1982; Recasens et al., 1984, 1988)

La influencia de un mayor salto térmico, junto a las bajas temperaturas en el período previo a la recolección, también se ha señalado en numerosas referencias como favorecedor de la coloración (Tan 1979; Blankenship, 1987). En las experiencias realizadas, se cálculo el salto térmico para el período 21 de agosto-recolección, siendo similar los tres años, lo que indica que la influencia de las temperaturas mínimas en la síntesis de antocianos, especialmente en las 2 o 3 semanas previas a la recolección. Análogas conclusiones se han

obtenido en las experiencias de riego refrescante, expuestas en el Capítulo I.

Observaciones similares realizaron Singha et al. (1991a), al analizar 37 variedades '*Red Delicious*', obteniendo que los menores valores de L^* (más color) correspondieron a '*Red Chief*' y los mayores a '*Sharpred*' y '*Topred Delicious*', correspondiendo a '*Oregón Spur*' valores intermedios; análogos resultados en cuanto a coloración se obtuvieron analizando el ratio a^*/b^* . En otras experiencias (Singha et al., 1991b), se analizó el contenido de antocianos y los valores de cromaticidad, de la cara más expuesta y de la menos expuesta a la iluminación; al igual que ha ocurrido en la presente experiencia, la cara más expuesta a la iluminación fué más roja (mayor contenido de antocianos, mayor ratio a^*/b^* , menor L^* y menor Tono) que la sombreada. En cuanto a variedades, y en base a los mismos parámetros, la mayor coloración se obtuvo para '*Red Chief*', '*Oregón Spur II*', '*Scarlet Spur*' y '*Ace*'. Experiencias más recientes, indican una mayor coloración de '*Oregón Spur II*' y '*Ace*', en base a L^* y a^*/b^* (Singha et al., 1994).

Crassweller et al. (1991) y Baugher et al. (1990a), señalaron que en base a los parámetros colorimétricos L^* y Tono, el color de '*Red Chief*' fue inferior a '*Scarlet Spur*' y '*Ace*', y similar a '*Ryanared*', por lo que '*Red Chief*' no fué la variedad de mayor coloración. También en experiencias previas Crassweller et al. (1984), obtuvieron para las variedades '*Early Red One*' y '*Dixiered*' una coloración superior a '*Red Chief*'. Los mismos autores en experiencias posteriores (Crassweller et al., 1989), obtuvieron una coloración decreciente de las siguientes variedades: '*Oregón Spur II*', '*Red Chief*' y '*Topred Delicious*', pero sin existir diferencias entre las mismas. Dichos resultados, no son coincidentes con los expuestos, dado que el color de '*Red Chief*' fué siempre superior al de '*Topred Delicious*'.

Segun las experiencias de Polesello y Gorini (1980), las variedades con menores valores del Tono o de mayor intensidad de coloración, clasificadas en el grupo 3.3, fueron entre otras '*Topred Delicious*' y '*Ryanared*'; mientras que '*Hy Early*' se incluyó en el grupo 3.2, de menor color que el 3.3. Teniendo en cuenta el parámetro L^* , las variedades más coloreadas fueron indistintamente '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*'. Estos resultados no son coincidentes a los que se acaban de exponer, dado que tanto en base al Tono como a L^* , las variedades '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*', fueron las de menor coloración y ambas de comportamiento similar.

Los resultados obtenidos son coincidentes a los aportados por Fallahi et al. (1994), según los cuales, el color de '*Early Red One*' y su precocidad, fué superior al resto de variedades; siendo '*Hy Early*' una de las de menos color y de coloración estriada, mientras que el color de '*Early Red One*' fué uniforme.

En zonas calurosas del Sureste de Francia, el mejor color correspondió también a '*Early Red One*', seguida por '*Topred Delicious*', '*Sharpred*' (tipos estándar) y '*Red Chief*' (*spur*). En los resultados obtenidos en la presente experiencia, el color de '*Red Chief*' no diferió de '*Early Red One*', siendo ambas de color superior a '*Sharpred*' y '*Topred Delicious*'. En las experiencias realizadas por Graell et al. (1993), tanto los valores de cromaticidad como los contenidos de antocianos, indicaban una coloración más intensa para '*Red Miracle*', no existiendo diferencias entre: '*Early Red One*', '*Red Chief*', '*Elite*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*', y si entre éstas y '*Topred Delicious*', resultados que coinciden parcialmente con los que se acaban de exponer.

Con respecto a la variedad '*Red Miracle*', señalar que se dispone de escasas referencias acerca su comportamiento, tanto en Europa como en Estados Unidos, dado que se trata de una variedad de origen francés, de obtención reciente. Señalar sin embargo, que por su elevada coloración, algunos autores (Trillot et al., 1993), la han equiparado a algunas variedades de procedencia norteamericana como '*Scarlet Spur*', '*Dixiered*', '*Oregón Spur II*', '*Morgan Spur*', '*Super Chief*' o '*It*', de coloración muy intensa y casi oscura. Actualmente la

estabilidad de la variedad no esta garantizada, dado que frecuentemente se observan reversiones de vegetación a tipos *spur*; por lo que requiere de un nuevo proceso de selección.

[Figura 2-12](#)

[Figura 2-13](#)

[Figura 2-14](#)

[Figura 2-15](#)

[Figura 2-16](#)

[Figura 2-17](#)

7.- RELACIÓN ENTRE LOS VALORES DE CROMATICIDAD Y EL CONTENIDO DE ANTOCIANOS DEL FRUTO

Se determinó para cada uno de los frutos de las diferentes muestras, los valores de cromaticidad y los correspondientes contenidos de antocianos, lo que permite establecer las relaciones existentes entre ambas variables. Numerosos autores han determinado en variedades '*Red Delicious*', la relación entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos o la apreciación visual del color de los frutos, obteniendo valores de los coeficientes de determinación de entre 0,59 y 0,93 (Francis et al., 1975; Francis, 1980; Polesello et al., 1980; Singha et al., 1991a,b; Graell et al., 1993; Lancaster et al., 1994).

El análisis de regresión lineal múltiple entre los valores de cromaticidad y el contenido de antocianos, se ha realizado según la metodología expuesta en el apartado Material y métodos: "*Tratamiento estadístico*", y se realizó únicamente en la recolección (no en los muestreos previos) de los años 1993 y 1994, para el fruto entero, para las dos caras de cada una de las variedades y para el conjunto de variedades. El año 1992, no se incluyó en los modelos de regresión, debido a que las determinaciones de antocianos no se realizaron en los mismos frutos en los que se habían realizado las lecturas con el colorímetro. Algunos de los modelos de regresión lineal múltiple obtenidos para: 1993+1994 conjuntamente, 1993, 1994, cara roja (1993+1994), y verde (1993+1994), de todas las variedades, figuran en el [Cuadro 60](#) (tabla 2-12). Se han incluido los modelos de regresión correspondientes a cada variedad, su significación y los coeficientes de determinación (R^2); en todos los casos los modelos fueron altamente significativos (**: $\alpha=0,01$).

Considerando las 8 variedades, los valores del coeficiente de determinación (R^2) para 1993+1994 conjuntamente fué, de 0,83; mientras que si se considera únicamente 1993, el valor fué de 0,87, y de 0,82 para 1994. Los valores obtenidos fueron similares para los dos años, considerados tanto de forma conjunta como separada. El valor de R^2 correspondiente a la cara más roja del fruto, presentó una menor relación con el contenido de antocianos que la cara verde; análogamente ocurrió en las experiencias de riego refrescante con las variedades '*Topred Delicious*' y '*Starking Delicious*', en las que los valores más elevados de dicho coeficiente correspondieron a la cara verde.

También se calcularon los modelos de regresión lineal múltiple, separados para cada variedad, y conjuntamente para los años 1993 y 1994, con el objeto de determinar posibles diferencias entre variedades ([Cuadro 60](#)), ver tabla 2-12. Los valores de R^2 oscilaron entre 0,82 ('*Early Red One*') y 0,69 ('*Oregón Spur*'), siendo para la mayoría de variedades próximos a 0,75. Variedades de mayor coloración como: '*Red Miracle*', '*Early Red One*' y '*Red Chief*', no siempre proporcionaron los mayores valores, en relación con las de menor color o de coloración más estriada como: '*Topred Delicious*', '*Sharpred*' y '*Hy Early*'. Un procedimiento análogo ha sido utilizado por otros autores, en el estudio comparativo de variedades '*Red Delicious*' (Singha et al., 1991b), obteniendo los mejores ajustes (R^2 próximo a 0,80) al utilizar ecuaciones separadas para cada variedad.

Período/ cara Variedad	Ecuación del modelo de regresión [Intervalo de confianza]*	R ²
1993+ 1994 (Todas las variedades).	y = 65,8 - 2,1 L* - 0,87 a* + 1,1 b* + 21,4 (a*/b*) - 1,1 Sat + 1,10 DE*	0,83**
	L* = [-0,4 -3,6]; a* = [-0,6 -1, 1]; b* = [1,6 0,4] a*/b* = [24,2 18,6]; Sat. = [0, 1 -2,3]; DE* = [2,8 -0,8]	
1993 (Todas las variedades)	y = 211,2 - 11,7 L* - 4,7 a* + 4,1 b* + 13,2 (a*/b*) - 2,9 Tono - 6,9 Sat	0,87**
	L* = [-17,1 -6,3]; a* = [2,5 -6,9]; b* = [5,5 2,7]; a*/b* = [21,6 4,8]; Tono = [1,5 -4,3]; Sat. = 3,1 -10,7]	
1994 (T. varied.)	y = 4,9 - 0,51 a* + 20,6 a*/b*	0,82**
	L* = [-0,4 -0,6]; a*/b* = [21,7 19,7]	
Cara roja (T. varied.)	y = 223,9 - 9,5 a* -3,2 Tono + 9,2 Sat.	0,77**
	a* = [-7,5 -11,5]; Tono = [-2,5 -3,9]; Sat. = [11,2 7,2]; DE* = [-1,9 -2,9]	
Cara verde (T. varied.)	y = 15,1 -0,08 a* -0,27 b* +23,2 (a*/b*)	0,84**
	a* = [-0,8 -1,0]; b* = [0,01 -0,6]; a*/b* = [25,2 m 21,2]	
Red Miracle	y = 588,5 - 24,0 b* -58,3 (a*/b*) -13,3 Tono -3,5 DE*	0,79**
	b* = [-11,6 -36,4]; a*/b* = [-15,7 -100,9]; Tono = [-1,3 -25,3]; DE* = [-2,6 -4,4]	
Early R. One	y = 142,7 -11,8 L* -3,4 a* +3,9 b* +17,1 (a*/b*) -2,2 Tono -7,2 Sat.	0,82**
	L* = [-4,2 -19,4]; a* = [-0,4 -6,4]; b* = [6,5 1,3] a*/b* = [30,3 3,9]; Tono = [-0,4 -4,0]; Sat. = [-2,2 -12,2]	
Red Chief	y = 40,6 + 4,4 L* -1,2 a* +19,9 a*/b* + 3,4 Sat. -5,9 DE*	0,74**
	L* = [9,1 -0,1]; a* = [-0,8 1,5]; a*/b* = [25,5 14,3]; Sat. = [7,3 0,3]; DE* = [-0,3 -11,5]	
Elite	y = -32,1 +0,90 b* + 25,8 (a*/b*)	0,73
	b* = [1,7 0,1]; a*/b* = [32,4 19,6]	
Oregón Spur	y = 26,1 + 16,9 (a*/b*) -0,85 Sat.	0,69**
	a*/b* = [17,7 15,1]; Sat. = [-0,35 -1,3]	
Sharpred	y = 19,9 -5,4 L* -0,46 a* +2,6 b* +31,7 (a*/b*) -3,5 Sat. +4,2 DE*	0,81**
	L* = [-1,3 -7,7]; a* = [-0,04 0,8]; a*/b* = [42,8 20,4]; Sat. = [-6,1 -1,0]; DE+ = [8,0 0,4]	
Hy Early	y = -22,5 -5,9 L* + 1,9 b* +30,3 (a*/b*) -5,2 Sat +7,2 DE*	0,79**
	L* = [-3,6 -8,2]; b* = [2,9 0,9]; a*/b* = [40,2 20,1]; Sat. = [-3,6 -6,8]; DE* = [9,8 4,6]	
Topred	y = 41,1 -0,47 a* + 1,1 b* + 15,9 (a*/b*) -3,6 Sat +6,7 DE*	0,70**
	a* = [-0,17 -0,77]; b* = [2,1 0,1]; a*/b* = [26,0 4,9]; Sat. = [-1,3 -6,0]; DE* = [11,3 2,1]	

Cuadro 60: Modelos de regresión lineal múltiple, intervalos de confianza de las variables, coeficientes de determinación (R²) y significación de diferentes modelos de regresión lineal múltiple entre el contenido de antocianos y los correspondientes valores colorimétricos de 8 variedades 'Red Delicious', en el momento de la recolección t para los años 1993 y 1994.

(y): contenido de antocianos.

(*): nivel de significación = 0,05.

(**): nivel de significación = 0,01.

Como complemento a las regresiones lineales múltiples, se realizó un análisis de regresión simple entre el contenido de antocianos y los valores colorimétricos. Para cada una de las variables L*, a*, b*, a*/b*, Tono, Saturación y DE*, y en la recolección, se calculó el modelo de regresión simple, que proporcionara un mejor ajuste (mayor R²) entre cada una dichas variables y el contenido de antocianos, considerando de forma conjunta y de forma separada los años 1993 y 1994, para el fruto entero y por caras de ambas variedades.

Dado que como resultado de la experiencia interesa evaluar de forma conjunta el comportamiento global de las 8 variedades en los años 1993 y 1994, se calcularon diferentes modelos de regresión simple para cada variedad y para el conjunto de variedades. En el [Cuadro 61](#) (tabla 1-13), figuran solamente los tres modelos correspondientes a cada una de las 8 variedades que proporcionaron un mejor ajuste, y que fueron significativos (a 0,05). Las ecuaciones han sido generalmente de tipo potencial, y en menor número de casos polinómico y exponencial.

Variedad	Modelos de regresión simple	R ²
<i>Red Miracle</i>	$y = 342.082 L^{*-2,44}$	0,75
	$y = 3.832 (a^*/b^*)^{-1,40}$	0,77
	$y = 795.861 DE^{*-2,5}$	0,76
<i>Early Red One</i>	$y = 1 E + 06 L^{-2,79}$	0,78
	$y = 4,55 (a^*/b^*)^2 - 6,34 (a^*/b^*) + 14,40$	0,79
	$y = 1.602,6 Tono^{-1,15}$	0,77
<i>Red Chief</i>	$y = 4.004 e^{0,64(a^*/b^*)}$	0,73
	$y = 1.835,2 Tono^{-1,26}$	0,71
	$y = 2 E + 09 DE^{*-4,55}$	0,71
<i>Elite</i>	$y = 1 E + 08 L^{*-4,14}$	0,80
	$y = 2,79 (a^*/b^*)^{2,1}$	0,79
	$y = 10.501 Tono^{-1,79}$	0,79
<i>Oregón Spur</i>	$y = 2 E + 06 L^{*-3,10}$	0,69
	$y = 3,71 e^{0,66 (a^*/b^*)}$	0,71
	$y = 2.417,3 Tono^{-1,34}$	0,70
<i>Sharpred</i>	$y = 1.611,6 + e^{-0,097 L^*}$	0,75
	$y = 5,74 (a^*/b^*)^2 - 10,64 (a^*/b^*) + 8,99$	0,80
	$y = 17.531 Tono^{-1,97}$	0,74
<i>Hy Early</i>	$y = 7 E + 06 L^{*-3,38}$	0,69
	$y = 2,43 e^{0,81 (a^*/b^*)}$	0,75
	$y = 2307 Tono^{-1,36}$	0,78
<i>Topred</i>	$y = 2.265,2 e^{-0,11 L^*}$	0,68
	$y = 3,85 (a^*/b^*)^2 - 2,31 (a^*/b^*) + 1,81$	0,70
	$y = 0,092 DE^{*2} - 12,41 DE^* + 434,1$	0,74

Cuadro 61: Modelos de regresión simple y coeficientes de determinación (R²), entre el contenido de antocianos y los valores colorimétricos de 8 variedades 'Red Delicious', en el momento de la recolección de los años 1993 y 1994 conjuntamente.

(y): contenido de antocianos.

De los diferentes parámetros colorimétricos, y considerando las 8 variedades, fueron: L*, a*/b* y Tono, los que en general proporcionaron los valores más elevados de los coeficientes de determinación, mientras que los menores valores correspondieron a la Saturación. Para el vector espacial de cromaticidad (DE*) y b*, se obtuvieron valores

similares o ligeramente inferiores a L^* ; mientras que para a^* los valores fueron siempre inferiores a a^*/b^* . En las experiencias realizadas por Singha et al. (1991a; 1994), el ratio a^*/b^* reflejó de forma efectiva la percepción visual del color, y se relacionó también aceptablemente con los contenidos de antocianos, lo que no ocurrió con a^* .

Si se comparan las variedades, los valores de R^2 obtenidos, fueron similares y oscilaron entre 0,68 y 0,81, siendo la mayoría próximos a 0,75. No se dieron diferencias importantes en los coeficientes de determinación en función de la intensidad de la coloración, por lo que a variedades de mayor coloración como '*Red Miracle*', '*Early Red One*' y '*Red Chief*' no les correspondieron siempre mayores valores de R^2 , que a variedades de menor color como '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' o '*Sharpred*'. Únicamente para las variedades '*Hy Early*', '*Oregón Spur*' y '*Topred Delicious*', de color más estriado, los valores de R^2 (parámetro L^*) fueron ligeramente inferiores al resto de variedades. Este mismo hecho se ha constatado en los modelos de regresión lineal múltiple y en las experiencias de riego refrescante, correspondiendo los menores valores a las variedades de color estriado como '*Starking Delicious*', '*Topred Delicious*', y los mayores a '*Early Red One*' y '*Oregón Spur*'.

Los coeficientes de determinación obtenidos con los modelos de regresión lineal múltiple o simple, para una misma variedad, han sido similares y en todos los casos superiores a 0,68; lo que indica una predicción aceptable de los contenidos de antocianos en base a los parámetros colorimétricos, debido al elevado porcentaje de variabilidad explicado por los modelos de regresión y a que éstos fueron siempre significativos.

También se calcularon los modelos de regresión simple para cada una de las dos caras del fruto de cada variedad (datos no expuestos). Los parámetros colorimétricos que proporcionaron los mejores ajustes fueron: a^*/b^* , Tono, L^* y DE^* , para los cuales los mayores valores de R^2 correspondieron a la cara verde, siendo superiores a los expuestos en el [Cuadro 61](#) para la totalidad del fruto. Considerando la cara roja, los valores fueron en general inferiores; siendo estos resultados coincidentes a los expuestos en el [Cuadro 60](#), donde también el mejor ajuste correspondió a la cara verde. De forma análoga, se analizaron separadamente los años 1993 y 1994, para cada una de las 8 variedades (datos no expuestos), siendo los parámetros a^*/b^* , Tono y L^* , los que proporcionaron un mejor ajuste, obteniendo valores de R^2 entre 0,70 y 0,80. Para la mayoría de variedades, los ajustes correspondientes al año 1994 (año de menor coloración), fueron mejores a los de 1993.

Para disponer de modelos de regresión para el conjunto de variedades, y al igual que se realizó en las regresiones lineales múltiples, se calculó para las 8 variedades, los modelos de regresión simple que presentaban un mejor ajuste entre los valores de colorimetría y los correspondientes contenidos de antocianos, y que fueran significativos (a 0,05). Dichos modelos se calcularon también en el momento de la recolección y de forma conjunta para los años 1993 y 1994; los mejores ajustes se han representado en la *Figura 2-18*, indicando en cada caso la ecuación de ajuste y el coeficiente de determinación. Puede observarse que la bondad del ajuste ha sido buena para los 4 parámetros L^* , a^*/b^* , Tono y DE^* , obteniéndose valores de R^2 entre 0,76 y 0,80. Las ecuaciones fueron de tipo potencial para L^* y Tono, y exponencial para a^*/b^* y DE^* ; para b^* , se obtuvo también un buen ajuste, mientras que los menores valores correspondieron a a^* (0,41) y a la Saturación (0,11).

En todos los modelos de regresión simple, la Saturación fué el parámetro que se relacionó peor con el contenido de antocianos, mientras que para a^* se obtuvieron valores siempre inferiores a a^*/b^* y al Tono; para b^* los valores fueron intermedios a a^* y a L^* . Las mejores ecuaciones de ajuste correspondieron, generalmente, a los tipos exponencial y potencial, y en menores ocasiones a logarítmicos y polinómicos.

[Figura 2-18](#)

Los valores de R^2 obtenidos en el análisis de regresión, considerando de forma conjunta las 8 variedades, son similares e incluso superiores a los de otras experiencias con variedades '*Red Delicious*' (Crassweller et al., 1991; Singha et al., 1991b;1994; Graell et al., 1993), e indican una buena predicción de los contenidos de antocianos en base a los parámetros colorimétricos. Análogos resultados se han obtenido en el análisis de regresión lineal múltiple.

Singha et al. (1991b) evaluando de forma conjunta 10 variedades, obtuvieron coeficientes de determinación para la relación entre el contenido de antocianos - b^* y a^*/b , de 0,51 y 0,53, respectivamente. Para el parámetro $(a^*/b^*)^2$, el valor de R^2 fué de 0,50; y se mejoró hasta 0,80 al utilizar modelos de regresión separados para cada variedad. En la presente experiencia es de destacar, que en la mayoría de los modelos de regresión lineal múltiple y simple aparece el ratio a^*/b^* , que en numerosos estudios se ha considerado que es el que está mejor relacionado con la apreciación visual del color, lo que no ocurre con a^* (Singha et al., 1989; 1991a,b; 1994). Graell et al. (1993) en la zona tardía de Lleida, obtuvieron con 11 variedades '*Red Delicious*' valores de R^2 de 0,93 para a^*/b^* y de 0,86 para el Tono, valores similares a los que se acaban de exponer.

En la presente experiencia, también se pretendía conocer la relación existente entre el contenido de antocianos y la apreciación visual del porcentaje unitario de la superficie del fruto con presencia de color, en una escala de 0 a 10. Los valores de R^2 para 1994, oscilaron entre 0,51 ('*Oregón Spur*') y 0,76 ('*Hy Early*'), y se obtuvieron con regresiones simples que respondían a ajustes del tipo potencial y exponencial. En otras experiencias con variedades '*Red Delicious*', se han relacionado los valores de colorimetría con la apreciación visual o el atractivo del color de los frutos, estableciendo para ello una escala hedónica de 0 (color no atractivo) a 10 (color muy atractivo), obteniéndose valores de R^2 de entre 0,55 y 0,73 (Singha et al., 1991a,b).

8.- PARÁMETROS DE CALIDAD DEL FRUTO

En los apartados anteriores se han analizado detalladamente las diferencias varietales en la coloración de los frutos, en base a los valores de cromaticidad y al contenido de antocianos. Sin embargo, otros parámetros de calidad como son: la firmeza, el contenido de sólidos solubles, la acidez, la relación sólidos solubles/acidez y el calibre del fruto, son determinantes para la valoración final de los frutos, y presentan habitualmente diferencias entre variedades. En el momento de la recolección de los años 1992, 1993 y 1994, se determinaron los diferentes parámetros de calidad de los frutos; los valores medios obtenidos se exponen en el [Cuadro 62](#) (tabla 2-14).

<i>Variedad</i>	Peso ¹	Calibre ¹	Firmeza ²	S. solubles ³	Acidez ³	S.solubles/ 3
	(g/fruto)	(mm)	(kg)	(°Brix)	(g/l)	acidez ³
<i>Red Miracle</i>	237,2 ab	85,3a	7,1 ab	12,6 ab	3,9a	3,2 b
<i>E.Red One</i>	239,4 ab	78,2 be	7,3a	11,8 b	3,3 b	3,6a
<i>Red Chief</i>	232,5 ab	80,1 be	7,3a	11,6 b	3,3 b	3,6a
<i>Elite</i>	244,6 ab	85,6a	7,2a	12,2 ab	3,4 b	3,6a
<i>Oregón Spur</i>	208,8 b	77,6 e	6,9 b	12,1 ab	3,1 b	3,7a
<i>Sharpred</i>	206,1 b	76,9 e	7,2a	13,2a	3,6 ab	3,6a
<i>Hy Early</i>	275,1 a	88,1a	7,0 b	12,8 ab	4,2a	3,0 b
<i>Topred</i>	257,7a	84,3 ab	6,9 b	12,4 ab	3,7a	3,3 a

Cuadro 62: Peso del fruto, calibre, firmeza de la pulpa, acidez titulable y relación entre el contenido de sólidos solubles y la acidez, en el momento de la recolección de 8 variedades '*Red Delicious*'. Los valores corresponden a la media de los años 1992, 1993 y 1994. Variedades con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

- (1) Cada valor corresponde a la media de 70 determinaciones.
(2) Cada valor corresponde a la media de 140 determinaciones.
(3) Cada valor corresponde a la media de 5 determinaciones.

Considerando el peso medio del fruto, se dieron diferencias entre variedades, siendo '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*', superiores a '*Oregón Spur*' y '*Sharpred*', no existiendo diferencias entre las restantes. Con el calibre se han obtenido resultados similares a los expuestos anteriormente para el peso, existiendo diferencias entre: '*Hy Early*', '*Topred Delicious*', '*Elite*' y '*Red Miracle*', con respecto a '*Oregón Spur*' y '*Sharpred*'. En todos los casos, el calibre medio fué superior a 75 mm, y por tanto adecuado desde el punto de vista comercial.

En experiencias realizadas con 25 variedades, entre las cuales se encontraban '*Early Red One*', '*Topred Delicious*' y '*Sharpred*', no existieron diferencias ni en el peso ni en el calibre de los frutos (Ketchie, 1988). Sin embargo, en trabajos realizados por Baugher et al. (1990a) y por Fallahi et al. (1994), el calibre de '*Oregón Spur*' fué superior a los de '*Topred Delicious*', '*Red Chief*' y '*Sharpred*'. Referencias procedentes de Francia (Le lezec et al., 1983), no indican diferencias de calibre entre las variedades '*Topred Delicious*' y '*Early Red One*', y tampoco entre éstas y '*Red Chief*', '*Sharpred*' y '*Oregón Spur*'. Dichos resultados son parcialmente coincidentes a los obtenidos en la presente experiencia.

La mayor firmeza de la pulpa correspondió a las variedades: '*Sharpred*', '*Elite*', '*Red Chief*' y '*Early Red One*', cuyos valores fueron superiores a los obtenidos para: '*Oregón Spur*', '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*', no existiendo diferencias entre variedades en función de su hábito de vegetación.

Resultados análogos han sido expuestos por Le Lezec et al. (1983) y Fallahi et al. (1994), lo que indica que es difícil (en base a los valores de firmeza, sólidos solubles y acidez), establecer diferencias entre variedades *estándar* y *spur* con respecto a la época de maduración.

El contenido de sólidos solubles es un parámetro de especial importancia en variedades '*Red Delicious*', indicando valores superiores una mejor calidad gustativa. Se dieron diferencias entre variedades, siendo el contenido de '*Sharpred*' superior a los de '*Early Red One*' y '*Red Chief*', no existiendo diferencias entre el resto de variedades. Diversos autores han atribuido al hábito de crecimiento *estándar*, un mayor contenido de sólidos solubles y una mayor calidad con respecto a las variedades *spur* (Le Lezec et al., 1983; Baugher et al.,

1990a), mientras que en otras experiencias no ha sido así (Fallahi, 1994). En los resultados expuestos no se han detectado diferencias entre tipos *estándar* y *spur*. La mayor acidez titulable se asocia generalmente con una mejor calidad gustativa, y se obtuvo con las variedades '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' y '*Red Miracle*', no existiendo diferencias entre el resto de variedades; mientras que para la relación sólidos solubles/acidez, los menores valores correspondieron a '*Hy Early*' y '*Red Miracle*'.

Los resultados expuestos, indican diferencias entre variedades para todos los parámetros, aunque, en general, no han ido asociados al hábito de vegetación de las mismas. Dichas diferencias dependen además de la variedad, de otros factores como: la edad de los árboles, la producción, la localidad, el año, el sistema de riego, y seguramente del estado fisiológico del fruto en el momento de la recolección (Crassweller et al., 1989; Williams et al., 1989; Baugher et al., 1990a; Williams, 1993).

Tanto el peso medio del fruto como los calibres obtenidos, pueden considerarse adecuados para variedades '*Red Delicious*' en condiciones normales de cultivo. Los valores de firmeza se encuentran en el intervalo 7-7,5 considerado como óptimo (Urbina, 1990), los menores correspondieron a 1994, debido probablemente a las elevadas temperaturas que se dieron en el período previo a la recolección. El contenido de sólidos solubles es superior a 11° Brix (Urbina, 1990), encontrándose mayoritariamente dentro del rango óptimo de 12-14° Brix (Herrero, et al., 1992). La acidez fué para todas las variedades superior a 3g/l, considerándose por tanto adecuada (Duran, 1983; Delhom, 1986).

Además del calibre medio de los frutos, es de interés conocer la distribución porcentual en los diferentes intervalos y por tanto su homogeneidad, siendo de interés que estén concentrado en pocos intervalos y que seán del máximo valor comercial (*Figura 2-19*). En todas las variedades, los mayores porcentajes correspondieron a calibres superiores a 80 mm, siendo estos los más interesantes para obtener las mejores cotizaciones. El calibre más homogéneo, correspondió a '*Red Miracle*', '*Elite*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*', mientras que el menos homogéneo se obtuvo con '*Oregón Spur*', siendo ésta la única variedad con calibres inferiores a 70 mm (4%). Para '*Topred Delicious*', '*Red Chief*' y '*Early Red One*' se obtuvieron resultados intermedios.

[Figura 2-19](#)

Teniendo en cuenta el conjunto de parámetros de calidad del fruto, puede concluirse que es difícil establecer diferencias entre variedades, dado que los mejores valores no correspondieron para todos los parámetros a la mismas. Tampoco existieron diferencias consistentes en función de su pertenencia a grupos *estándar* o *spur*.

Sin embargo, los valores obtenidos pueden considerarse adecuados para proporcionar una adecuada calidad gustativa y un buen calibre desde el punto de vista comercial. Trabajos realizados por otros autores (Crassweller et al., 1989), ponen de manifiesto que en variedades '*Red Delicious*' es difícil por el consumidor establecer diferencias de calidad gustativa, y más aún cuando no tiene la ocasión de compararlas entre ellas. Es por ello, que el color sigue siendo el principal criterio a considerar para su adecuada comercialización, y por tanto su mejora, seguirá siendo en el futuro el aspecto más importante en la selección de nuevas variedades.

El análisis de los resultados obtenidos durante los años 1992, 1993 y 1994, ha permitido evaluar la influencia del factor año en los parámetros de calidad de las 8 variedades (*Cuadro 63*, ver *tabla 2-15*). Tanto el peso como el calibre no mostraron diferencias entre los tres años. La mayor firmeza correspondió a 1992 y la menor a 1994, siendo este el año en que se dieron las temperaturas más elevadas; resultados similares se han obtenido en las experiencias de riego refrescante. El mayor contenido de sólidos solubles correspondió a 1994, no existiendo diferencias entre 1992 y 1993; obteniéndose la mayor acidez en 1993 y el

mayor ratio sólidos solubles/acidez en 1992 y 1994. La interacción *variedad x año* fué altamente significativa para todos los parámetros.

Año	Peso fruto (gr)	Calibre (mm)	firmeza (kg)	S. solubles (°Brix)	Acidez (g/l)	S. solubles/ acidez
1992	239,1 a	83,4a	7,5a	12,0 b	3,1 b	3,9a
1993	232,9a	82,8a	7,1 b	12,3 b	4,1a	3,1 b
1994	246,1 a	81,7a	6,7 c	13,1 a	3,5 b	3,7a
Media	237,8	82,6	7,1	12,5	3,6	3,6

Cuadro 63: Peso del fruto, calibre, firmeza de la pulpa, contenido de sólidos solubles, acidez titulable y relación contenido de sólidos solubles/acidez, en los años 1992, 1993 y 1994, para 8 variedades mk 'Red Delicious'. Años con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0,05$)

9.- VIGOR Y PRODUCTIVIDAD

Las diferencias de vigor y productividad entre las variedades 'Red Delicious', se ven influenciadas por su pertenencia al grupo *estándar* o *spur*, aunque algunas variedades como 'Early Red One' poseen características intermedias a ambos grupos a pesar de tratarse de una variedad *estándar*; así mismo 'Red Miracle', considerada como *estándar*, presenta con relativa frecuencia reversiones a tipos *spur*, debido a su poca estabilidad. Numerosas referencias aportan información acerca del vigor y productividad de las principales variedades del grupo 'Red Delicious' (Decourtye et al., 1970; Westwood et al., 1970; Lord et al., 1979; 1980; Le Lezec et al., 1983; Crassweller et al., 1985;1989;1991; Dennis, 1987; Fisher et al., 1989; Iglesias, 1989; Baugher et al., 1990a; Ketchie et al., 1988; Fallahi et al., 1994).

El tamaño del árbol y su vigor están altamente relacionados con el perímetro del tronco (Westwood et al., 1970), por lo que se determinó para las diferentes variedades, la sección y el perímetro del tronco a 20 cm del punto de injerto. En la experiencia, cada variedad se injertó con el patrón que se consideró adecuado para su hábito de vegetación, por lo que los patrones fueron diferentes (Figura 2-20), lo que pudo ocasionar que no se apreciaran diferencias de vigor en función de su pertenencia a tipos *estandar* o *spur*.

Entre las variedades introducidas en 1984 (señaladas con ** en la Figura 2-20), el mayor perímetro del tronco (mayor vigor) correspondió a 'Early Red One', seguida por: 'Sharpred', 'Oregón Spur', y 'Topred Delicious', sin diferencias entre las mismas. 'Red Chief' fué la variedad de menor vigor. De las variedades introducidas en 1986, 'Hy Early' fué la de mayor sección, y 'Elite' la de menor. 'Red Miracle' se introdujo posteriormente (1989), por lo que a pesar de encontrarse en plena producción, no se incluyó en el estudio; su vigor fué similar al de 'Early Red One'.

Las producciones acumuladas (kg/árbol) durante el período 1992-1994, se han representado en la Figura 2-20, dándose diferencias entre variedades. Los coeficientes de variación indican que no hubo diferencias entre variedades en las producciones de los años 1992, 1993 y 1994. La mayor producción correspondió a 'Early Red One', seguida en orden decreciente por 'Sharpred' y 'Oregón Spur'; a continuación se situaron 'Elite' y 'Topred Delicious', no existiendo tampoco diferencias entre 'Topred Delicious' y 'Hy Early'. La menor producción correspondió 'Red Chief', debido a que el patrón 'MM-106' proporcionó un vigor insuficiente.

Cabe recordar que 'Red Chief' es una de las variedades *spur* de menor vigor, como lo demuestra la sección del tronco que fué de 44,1 cm², mientras que para 'Oregón Spur' fué de

63,8 cm² (un 44% superior), siendo ambas *spur* y encontrándose injertadas sobre el mismo patrón ('MM-106'). Para '*Red Miracle*', las producciones obtenidas hasta su 6º verde (año 1994), fueron similares a las de '*Sharpred*' (datos no expuestos).

[Figura 2-20](#)

Una característica importante es la productividad de las variedades; la cual se evalúa en base al Índice de Productividad (IP) o eficiencia productiva, calculado como el cociente entre la producción acumulada desde la plantación hasta el año 1994, y el perímetro del tronco al finalizar dicho año. Cuanto mayor sea el valor de dicho índice, mejor será la eficiencia productiva de la variedad (Masseron et al., 1989).

Los resultados obtenidos de producción acumulada y de vigor de cada variedad (hasta el año 1994) se exponen en la *Figura 2-21*, donde cada variedad se representa como un punto resultante de la intersección de ambas variables. La pendiente de la recta que une cada variedad con el origen de coordenadas, es una medida de la productividad; por lo que mayores pendientes indican un mejor Índice de Productividad y una mayor eficiencia productiva (Le Lezec et al., 1993).

[Figura 2-21](#)

Complementariamente se determinó, al finalizar el período vegetativo de cada año, la densidad de yemas por metro lineal de ramo. Las variedades *spur*: '*Red Chief*', '*Elite*' y '*Oregón Spur*' proporcionaron densidades (valores medios de los tres años) de: 38, 36 y 33, respectivamente. Para las variedades: '*Topred Delicious*', '*Sharpred*', '*Hy Early*', '*Red Miracle*' y '*Early Red One*' se obtuvieron densidades de 15, 17, 20, 23 y 25, respectivamente. Los datos expuestos, indican una clara diferencia entre las variedades en función de su pertenencia a los tipos *estándar* o *spur*. En la variedad '*Red Chief*', el número de yemas por metro lineal fué más del doble (38) que en '*Topred Delicious*' (15), resultados que son similares a los obtenidos por Baugher et al. (1990a).

Esta característica está directamente relacionada con el vigor de la variedad, correspondiendo el menor vigor a las variedades con mayor densidad de yemas (Baugher et al., 1990a; Warrington et al., 1990), que en este caso fué '*Red Chief*', a la que correspondió también la menor sección del tronco. Es de destacar también, que el número de yemas por metro lineal de madera de '*Early Red One*', fué casi el doble que '*Topred Delicious*', lo que indica que a pesar de tratarse de una variedad del grupo *estándar*, su hábito de crecimiento es próximo a los tipos *spur*. Ello podría explicar su buen comportamiento productivo.

Ketchie (1988) no obtuvo diferencias en la producción acumulada de las variedades: '*Topred Delicious*', '*Sharpred*', '*Hy Early*', '*Early Red One*', con patrón 'M-7', y '*Red Chief*' con 'MM-111'; mientras que para esta última variedad el patrón 'M-7' confirió una menor producción. La mayor eficiencia productiva correspondió a '*Red Chief*', seguida por '*Topred Delicious*', y la menor indistintamente a: '*Early Red One*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*'. En experiencias con variedades '*Red Delicious*' utilizando el patrón 'M-7', Fallahi et al. (1994), obtuvieron la mayor producción acumulada con las variedades '*Early Red One*' y '*Sharpred*', siendo intermedias las de '*Topred Delicious*' y '*Hy Early*'. La mejor eficiencia productiva correspondió a '*Early Red One*', no existiendo diferencias entre '*Sharpred*', '*Hy Early*' y '*Topred Delicious*'. En dichos resultados, '*Early Red One*' fué una de las variedades con mejor color y productividad, lo que coincide con los obtenidos en la presente experiencia y con otras referencias (Le Lezec et al., 1983; Iglesias, 1989).

Las referencias sobre variedades '*Red Delicious*' son numerosas, pero el comportamiento de las variedades no siempre son coincidentes, debido a las importantes diferencias de vigor entre variedades en función de su pertenencia al hábito de vegetación *estándar* o *spur*, lo que implica la elección de patrones diferentes. Al igual que en el presente trabajo '*Early Red One*' es la que ha aportado en general la mayor producción y

productividad, siempre y cuando el patrón elegido haya sido el apropiado, dado que se trata de una variedad *estándar* pero de comportamiento próximo a los tipos *spur*, por lo que requiere patrones de vigor medio, como el '*MM-106*' o el '*M-7*', para no penalizar las producciones (Le Lezec et al., 1983; Iglesias, 1989; Masseron, 1986; Warrington et al., 1990; Trillot et al., 1993; Fallahi et al., 1994). Con la variedad '*Red Chief*' las producciones y la productividad obtenidas en el presente trabajo han sido inferiores a otras variedades, debido al insuficiente vigor del patrón '*MM-106*'. En experiencias donde se utilizó el '*MM-111*' y el '*MM-106*' (Ketchie, 1988) se obtuvo la mejor producción y productividad con el '*MM-111*', debido al carácter marcadamente *spur* de esta variedad, por lo que requiere patrones vigorosos. Análogas consideraciones pueden realizarse con la variedad '*Elite*'. Contrariamente el vigor de '*Oregón Spur*' fué superior y con el patrón '*MM-106*' se obtuvieron buenas producciones.

Finalmente señalar que el vigor de las variedades de tipo *estándar*: '*Topred Delicious*', '*Sharpred*' y '*Hy Early*' es elevado y similar al de '*Starking Delicious*' (Ketchie, 1988; Fallahi et al., 1994); por lo que la utilización de patrones débiles (tipo '*M-9*') mejora considerablemente su productividad, en comparación con los de vigor medio o elevado (Fisher et al., 1970;1981;1989; Lord, 1979;1980; Brueggen et al., 1988; Ketchie, 1988; Baugher et al., 1990a; Warrington et al., 1990).

10.- CONCLUSIONES

En base a los resultados expuestos de las experiencias realizadas con 8 variedades '*Red Delicious*', durante los años 1992, 1993 y 1994, se exponen las siguientes conclusiones:

Teniendo en cuenta los parámetros colorimétricos L^* , a^*/b^* y Tono, '*Red Miracle*' fué la variedad que en la recolección proporcionó el mayor color de los frutos, seguida por '*Early Red One*' y '*Red Chief*'. Para L^* y a^*/b^* no hubo diferencias entre éstas dos últimas y '*Oregón Spur*', obteniéndose con '*Elite*' y '*Sharpred*' valores intermedios. El menor color correspondió a '*Topred Delicious*' y a '*Hy Early*'.

El mayor contenido de antocianos correspondió a '*Red Miracle*' y los menores a '*Topred Delicious*' y a '*Hy Early*', indistintamente. Para el resto de variedades se obtuvieron conclusiones similares a los expuestos para los parámetros colorimétricos. '*Red Miracle*' destacó del resto de variedades por su elevada coloración roja.

En las fechas previas a la recolección, las diferencias entre variedades fueron análogas a las expuestas para los valores de cromaticidad y contenido de antocianos, lo que indica que las variedades con mayor color en la recolección lo adquirieron más precozmente.

Existieron diferencias en la distribución del color en el fruto, siendo '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' de color estriado, '*Sharpred*', '*Elite*', '*Oregón Spur*' y '*Red Chief*' con estrías menos aparentes y '*Early Red One*' y '*Red Miracle*' de color uniforme. Las diferencias fueron más evidentes en las fechas previas a la recolección y en la cara menos coloreada. Las diferencias de color entre las dos caras del fruto fueron mayores cuanto menor era la coloración de las variedades.

El factor año influyó significativamente en la coloración, correspondiendo el mayor color - en base a los parámetros colorimétricos y al contenido de antocianos - al año 1993, en que se dieron las temperaturas mínimas más bajas en el período previo a la recolección.

La acumulación de antocianos y la evolución de los valores colorimétricos, fueron más importantes en los 15 días previos a la recolección.

La interacciones *año x variedad* y *fecha x variedad* fueron significativas para los parámetros colorimétricos y para el contenido de antocianos.

En la recolección, los valores de colorimetría han proporcionado una buena predicción de los contenidos de antocianos de la piel de la manzana, permitiendo cuantificar diferencias de color en el tiempo y entre variedades.

El mayor peso y calibre de los frutos correspondió a '*Hy Early*', '*Topred Delicious*', '*Elite*', '*Red Miracle*', y '*Sharpred*'; mientras que el calibre más homogéneo se obtuvo con la variedades '*Red Miracle*', '*Hy Early*', '*Elite*' y '*Sharpred*'.

El mayor contenido de sólidos solubles se obtuvo con la variedad '*Sharpred*' y los menores con '*Red Chief*' y '*Early Red One*'; mientras que la mayor acidez titulable correspondió a '*Hy Early*', '*Topred Delicious*' y '*Red Miracle*' y la menor a '*Oregón Spur*', '*Elite*', '*Early Red One*' y '*Red Chief*'.

La mayor producción acumulada y la mejor productividad correspondieron a la variedad '*Early Red One*' seguida por '*Sharpred*', mientras que las menores fueron para '*Hy Early*' y '*Elite*'. No existieron diferencias de color ni de productividad entre variedades, por la pertenencia al hábito de vegetación *estándar* o *spur*.

CONCLUSIONES GENERALES

En base a las experiencias realizadas durante los años 1992, 1993 y 1994, sobre la influencia del riego por aspersión y del material vegetal en la coloración de los frutos, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

Todas las alternativas de riego refrescante evaluadas, modificaron las condiciones ambientales de la plantación, disminuyendo la temperatura de los frutos e incrementando la humedad relativa ambiental.

En general, fué el riego aplicado al anochecer, el que proporcionó mayores contenidos de antocianos, una mejor coloración de los frutos, y un anticipo de la misma. Con el riego aplicado al amanecer en la variedad '*Topred Delicious*', año 1994, se obtuvieron resultados similares a los del riego al anochecer.

La respuesta al riego refrescante fué mayor en años con condiciones climáticas más difíciles a la coloración como 1994, y en variedades de menor color como '*Starking Delicious*', '*Topred Delicious*' o '*Mondial Gala*', en comparación con '*Early Red One*'; por lo que los factores año y variedad influyeron significativamente en la coloración de los frutos.

Condiciones climáticas favorables a la coloración, como las de 1993, enmascararon parcialmente el efecto del riego refrescante, especialmente en la variedad '*Early Red One*' de elevada coloración; y disminuyeron las diferencias de color entre las 8 variedades '*Red Delicious*' evaluadas.

La calidad de los frutos se mejoró por el riego refrescante aplicado al mediodía, en especial el calibre y la firmeza de los frutos. El riego aplicado al anochecer y al amanecer no ocasionaron variaciones consistentes en los parámetros de calidad del fruto. El efecto del riego en la mejora de la calidad se vió influenciada por el año y fué especialmente significativa en 1994, con temperaturas más elevadas.

En general, se puede realizar una predicción aceptable de los contenidos de antocianos en base a los valores de los parámetros colorimétricos medidos instrumentalmente; dicha predicción es mejor en variedades de mayor coloración como '*Early Red One*', '*Oregón Spur*' y '*Topred Delicious*', que en variedades de menor color y con estrías, como '*Starking Delicious*' o '*Mondial Gala*'.

En variedades de menor coloración y en años más difíciles al color, las diferencias entre caras fueron mayores y la uniformidad del color en el fruto menor.

En todas las experiencias, la acumulación de antocianos y la mayor evolución de los valores de cromaticidad, se produjo fundamentalmente durante los 20 días antes de la recolección.

De las 8 variedades '*Red Delicious*' evaluadas la mayor coloración y la más precoz correspondió a '*Red Miracle*', seguida por '*Early Red One*' y '*Red Chief*', y la menor a '*Topred Delicious*', '*Hy Early*' y '*Sharpred*'; obteniéndose para '*Oregón Spur*' y '*Elite*' resultados intermedios.

Variedades con mayor coloración en la recolección, también lo adquirieron en estadios más precoces de desarrollo del fruto, observándose ya en dichos estadios diferencias entre variedades por el tipo de color, que fué uniforme en '*Early Red One*' y '*Red Miracle*', y con estrías más o menos evidentes en el resto de variedades. No se observaron diferencias en el color ni en la productividad, por la pertenencia de las variedades al hábito de vegetación *estándar* o *spur*.

BIBLIOGRAFÍA

- ACUFF, G., 1993. Storing 'Gala' and 'Fuji'. *American Fruit Grower*, june: 6-7.
- AGUSTÍ, M.; ANDREU, I.; JUAN, M.; MEDINA, F.; ALMELA, V., 1995. Mejora de la calidad de los frutos de hueso mediante la aplicación del fenotiol. VI Congreso de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Barcelona; pág.8.
- ALSTON, R.E., 1959. Physiology and the inheritance of anthocyanin pattern. *Genetica*, 30: 261-277.
- ANDREWS, 1995. Evaporative cooling of 'Fuji' apples. *American Fruit Grower*, july: 32-34.
- AMRHEIN, N.; ZENK, M.H., 1971. Untersuchungen zur Rolle der Phenylalanin Ammonium-Lyase (PAL) bei der regulation der Flavonoidsynthese in Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *Z. Pflanzenphysiol.*, 64: 145-168.
- ARAKAWA, O.; HORI, Y.; OGATA, R., 1986. Characteristics of color development and relationship between anthocyanin synthesis and phenylalanina ammonia-lyasa activity in 'Starking Delicious', 'Fuji' and 'Mutsu' apple fruits. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, 54: 424-430.
- ARAKAWA, O., 1988a. Photoregulation of anthocyanin synthesis in fruit under UV-B and red light. *Plant Cell Physiol.*, 29: 1385-1389.
- ARAKAWA, O., 1988b. Characteristics of color development in some apple cultivars: changes in anthocyanin synthesis during maturation as affected by bagging and light quality. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 57: 373.
- ARTHUR, J.M., 1932. Red pigment production in apples by means of artificial light sources. *Contrib. Boyce Thompson Inst.*, 4: 1-18.
- ARTIGAS, J.M.; GIL, J.C.; FELIPE, A., 1985. El espacio uniforme del color CIELAB. Utilización. *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.*, 25:316-320.
- ASEN, S.; NORRIS, K.H.; STEWART, R.N., 1971. Effect of pH and concentration of the anthocyanin-flavonol co-pigment complex on the color of 'Better Times' roses. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 96: 770-773.
- ASEN, S.; STEWART, R.N.; NORRIS, K.H., 1972. Copigmentation of anthocyanins in plant tissues and its effects on color, *Phytochemistry*, 11: 1139.
- AUBERT, S., 1983. Processus d'analyse de la couleur des fruits. INRA, Stage de formation Invuflec.
- AUBERT, S., 1990. Intérêt des mesures de couleur dans l'amélioration de la qualité des fruits. Application au brunissement des pommes. 9^o Colloque sur les recherches fruitières. Avignon 4-6 décembre, pág. 239-248.
- AUTIO, W.R.; HAYDEN, R.A.; MICKE, W.C.; BROWN, G.R., 1996. Rootstock affects ripening, color, and shape of 'Starkspur Supreme Delicious' apples in the 1984 NC-140 Cooperative planting. *Fruit Varieties Journal*, 50(1):45-53.
- AVERY, D.J., 1970. Effects of fruiting on the growth of apples trees on four rootstock varieties. *New Phytol.*, 69:19-30.
- AZCON-BIETO, J.; TALON, M., 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. En: "Compuestos fenólicos". Ed. McGraw-Hill; pág.471-473.
- BAKKEN, T.J.; BOE, A.A., 1982. Effects of daminocide en endogenous levels of gibberellins in apple seedlings. *HortScience*, 12: 17-25.
- BASTIN, M., 1967. Auxin and giberellin interactions in morphogenesis. *Planta*, 73: 243-249.
- BARBEE, L., 1971. Overtree sprinkling systems do more than irrigate orchards. *Good Fruit Grower*, 21:17.
- BARDEN, J.A.; MARINI, R.P., 1984. Summer and dormant pruning of apple: a four year summary. *Acta Horticulturae*, 146: 263-268.

BARRIT, B.H.; KONISHI, B.N.; DILLEY, M.A., 1993. Dwarfing. *Good Fruit Grower*, 1:22-46.

BARRIT, B.H.; DILLEY, M.A.; KONISHI, A.S., 1994. Influence of rootstock on 'Delicious' apples fruit shape. *Fruit Varieties Journal*, 48: 126-130.

BARTRAM, R.; FISHER, D.V.; KETCHIE, D.O., 1979. Survey of literature on red strains of 'Delicious'. Was. St. Univ. College Agr. Res. Centr. Bull. 0898; pág.17.

BASTIN, M., 1967. Auxin and Gibberellin interactions in morphogenesis. *Planta*, 73: 243-249.

BAUGHER, T.A.; SINGHA, S.; TOWNSEND, E.C.; INGLE, M., 1990a. Growth, yield and fruit quality of 'Delicious' apple strains. Bulletin 702, West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station. West Virginia University; pág.14.

BAUGHER, T.A.; HOGMIRE, H.W.; LIGHTNER, T., 1990b. Determining apple packout losses and impact of profitability. *Applied Agric. Res.* 5: 23.

BAUGHER, T.A.; TOWNSEND, E.C.; SINGHA, S.; LEACH, D.W.; WALTER, S.P., 1995. Relationship between chromaticity Measurements and visual ratings of peach cultivars. *Fruit Varieties Journal*, 49: 42-46.

BEATTIE, J.M., 1954. The effect of differential nitrogen fertilization on some of the physical and chemical factors affecting the quality of 'Baldwin' apples. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 63: 1-9.

BELL, E.A.; CHARLWOOD, B.V., 1980. Secondary plant products. Ed. Springer-Verlag; pág. 47.

BERUTER, J., 1984. Über die Zuckerrücklage in wachsenden Äpfeln. Schweiz. Z. Obst. Weinbau, 120: 372-379.

BIBLE,

B.B.; CUTHBERT, R.L.; CAROLUS, R.L., 1968. Responses of some vegetable crops to atmospheric modification under field conditions. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 92:590-594.

BISHOP, R.C.; KLEIN, R.M., 1975. Photo promotion of anthocyanin synthesis in harvested apples. *HortScience*, 10: 126-127.

BLANCHET, P., 1992. Maturité et conservation de 'Fuji'. *Fruits et Légumes*, 111: 29-30.

BLANCHET, P.; RAMAT, T., 1995. Comportement de la pomme 'Fuji': I. Coloration et russeting. *L'arboriculture Fruitière*, 483: 21-26.

BLANKENSHIP, S.M., 1987. Night-temperature effects on rate of apple fruit maturation and fruit quality. *Scientia Hort.*, 33: 205-212.

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

BLANPIED, G.D.; FORSHEY, C.G.; STYLES, W.C.; GREEN, D.W.; LORD, W.J.; BRAMLAGE, W.J., 1975. Use of ethephon to stimulate red color without hastening ripening of 'McIntosh' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 100: 379-381.

BLIZZARD, S.H.; SINGHA, S.; BAUGHER, T.A.; CAYTON, B.D., 1988. Yield and fruit quality of apple trees under three high density management systems. *Fruit Varieties Journal*, 42:67-72.

BOLETÍN INFORMATIVO AGROPECUARIO. Mercolleida, mercado en origen, núms. 1309 al 1467, campañas 1992-93, 1993-94 y 1994-95.

BÖMEKE, H., 1959a. Über die Anthozyanbildung, insbesondere bei Äpfeln. Mitt. OVR Jork, 14: 137-139.

BRAUN, A., 1976. L'heredite des anthocyanes florales. *Annee Biologique*, 15: 294-328.

BROUILLARD, R.; MAZZA, G.; SAAD, G.; ALBRECHT-GARY, A.M.;

CHEMINAR, A., 1989. The copigmentation reaction of anthocyanins: a microprobe for the structural study of aqueous solutions. *J. Am. Chem. Soc.*, III: 2604.

BROWN, A.G., 1975. Breeding for specific characters, 1, 3-57pp. In: J.Janick, J.N. Moore: "*Advances in fruit breeding*". Purdue University Press; pág. 3-57.

BRU, M., 1995. Vent du sud sur la pomme. *Fruits et Legumes*, 136: 27-31.

BRUEGGEN, J.J.; BOTKIN, C.; LEWIS, R.; MACE, C.; WILCOX, A., 1988. West Virginia fruit tree survey. West Virginia and U.S.Depts. of Agriculture; pág.34.

BURDA, S.; OLESZEK, W.; LEE, C.Y., 1990. Phenolic compounds and their changes in apples during maturation and cold storage. *J. Agric. Food Chem.*, 38: 945.

BUSCAROLI, C., 1995. Evoluzione e problematiche della certificazione genetica-sanitaria in Emilia-Romagna. *Rivista de Frutticoltura*, 9: 41-48.

CALDWELL, M.M., 1981. Plant response to solar ultraviolet radiation, 4. In: A. Pirson and M-H. Zimmermann (Editors): "*Encyclopedia of Plant physiology*", New series Vol. 12A. Springer, Berlin; pág.169-197.

CASTRO, H.R.; RODRIGUEZ, R.; BARRÍA, J.; BENITEZ, C.E.; FRANCILE, S., 1984a. Efectos del Alar sobre la calidad de la producción de manzanos '*Red Delicious Spur*'. Estac. Exp. Reg. Agropecu. Alto Valle; pág.34-46.

CASTRO, H.R.; RODRIGUEZ, R.; BARRÍA, J.; BENITEZ, C.E.; FRANCILE, S., 1984b. Efecto de algunos reguladores de crecimiento sobre la coloración y la conservación frigorífica de los frutos de manzanos cv. '*Red Delicious*'. Estac. Exp. Reg. Agropecu. Alto Valle; pág.37-39.

CHALMERS, D.J.; FARAGHER, 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.

CHALMERS, D.J.; FARAGHER, D.J., 1977a. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin I. Comparison of the effects of cycloheximide, ultraviolet light, wounding and maturity. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 4: 111-121.

CHALMERS, D.J.; FARAGHER, D.J., 1977b. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin II. Involvement of ethylene. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 4: 123-131.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H., 1982. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza; pág.32-46.

CHEN, L.J.; HARZDINA, G., 1981. Structural aspects of anthocyanin-flavonoid complex formation and its role in plant color. *Phytochemistry*, 20: 297.

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

CHIRIAC, S.; STAN, S.; TERDIC, M.; SMARANDACHE, V., 1983. Effect of SADH (Alar) treatment on apple quality. Lucrarile Steintice ale Institutu de Cercetore si Productie pentru. Pomicultura Pitesti, 10: 273-277.

CLERINX, P., 1983. Effect du climat sur la coloration rouge des pommes. *Le Fruit Belge*, 404: 319-321.

CLERINX, P., 1987. Evaluation de l'aptitude du sol á la culture de la variété '*Jonagold*'. *Rev. Agric*, 40: 25-33.

CLYDESDALE, F.M., 1978. Colorimetry, methodology and applications. *CRC Critical Rev. In Food Sci. & Nutr.* 10: 243-301.

CRASSWELLER, R.M.; WALKER, J.; SHEWFELT, R.L., 1985. Color evaluation of seventeen strains of '*Delicious*'. *Fruit Varieties Journal*, 39: 21-24.

CRASSWELLER, R.M.; HOLLENDAR, R.A., 1989. Consumer evaluations of '*Delicious*' apple strains. *Fruit Varieties Journal*, 43: 139-142.

CRASSWELLER, R.M.; BRAUN, H.L.; BAUGHER, T.A.; GREENE, G.N.;

HOLLENDAR, R.A., 1991. Color evaluations of 'Delicious' strains. *Fruit Varieties Journal*, 45: 114-120.

CREASY, L.L., 1966. The effect of temperature on anthocyanin synthesis in 'McIntosh' apple skin. *Proc. N. Y. State Hort. Soc.*, 111: 93-96.

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

CREASY, L.L.; ZUCKER, M., 1974. Phenylalanine ammonia-lyase and phenolic metabolism. *Rec. Ad. Phytochem.*, 8: 1-19.

DECOURTYE, L.; LANTIN, B., 1970. Considérations méthodologiques sur l'isolement de mutants provoqués chez le pommier et le poirier. *Ann. Amélior. Plantes*, 21(1), 29:44.

DARP, 1987. Inventari agronomic de fruiters, any 1985. Ambit territorial de Lleida. Servei d'Agricultura; pág.14-38.

DARP, 1994. Avanç de l'inventari Frutícola de Catalunya, Demarcació de Lleida; pág.6-9.

DARP, 1995a. Inventari frutícola de Catalunya. Zona frutícola de Lleida; pág.8-12.

DARP, 1995b. Estadística i Conjuntura Agrària. Núms. 92-93; pág.90-97.

DAYTON, D.F., 1959. Red color distribution in apple skin. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 74:72.

DAYTON, D.F., 1969. Genetic heterogeneity in the histogenic layers of apple. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 94(6): 592-595.

DELHOM, M.J., 1986. La calidad de la fruta: conceptos fundamentales. En: Curso de frigoconservación de manzanas y peras. Col.legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya; pág.291.

DENNIS, J.R., 1987. Productivity of 28 strains of 'Delicious' apple. Preliminary evaluations in Michigan. *HortScience*, 22:1045.

DERMEN, H., 1960. Nature of plant sports. *The American Horticultural Magazine*, 393 (3): 123-173.

DICKINSON, J.P.; WHITE, A.G., 1986. Red colour distribution in the skin of 'Gala' apple and some of its sports. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 29: 695-698.

DIENER, H.A., 1977. Die Anthocyan-und Flavonolgehalte in der Apfelschale bei Variation von Tag-und Nachttemperatur. Dissertation University of Hannover, 74.

DIENER, H.A.; NAUMANN, W.D., 1981. Der einfluß von Tag-und Nachttemperaturen auf die Anthocyan-synthese in der Apfelschale. *Gartenbauwissenschaft*, 46: 125-132.

DILLEY, D.R., 1969. Hormonal control of fruit ripening. *Hortscience*, 4:111-114.

DILLEY, R.M.; SALVEIT, M., 1979. Measuring fruit ethylene concentration for proper harvest and storage decisions - 18 th. Ann. Report Michigan State Horticultural Society; pág.121-156.

DORDET, Y., 1990. La colorimetrie: pratique et applications. Ed. Eyrolles. Paris; pág.148.

DOWNS, R.J.; SIEGELMAN, H.W.; BUTLER, W.L.; HENDRICKS, S.B., 1965. Photoreceptive pigments for anthocyanin synthesis in apple skin. *Nature*, 205: 909-910.

DRAKE, S.R.; PROEBSTING E.L.; MAHAN, M.O.; THOMPSON, J.B, 1981. Influence of trickle and sprinkle irrigation on 'Golden Delicious' apple quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 106(3): 255-258.

DURAN, L., 1978. El color en tecnología de alimentos. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.*, 20: 1-12.

DURAN, S., 1983. Frigoconservación de la fruta. Ed. Aedos. Barcelona; pág.59-74.

EIJDEN VAN J.; VAN-EIJDEN, J., 1990. Training and pruning 'Elstar' in Netherlands. *Le Fruit Belge*, 58, 429: 25-32.

EUGSTER, C.H.; M£ RKI-FISHER, E., 1991. The chemistry of rose pigments. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 30: 654.

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.

FABY, R.; CLEVER, M., 1989. Förderung der Fruchtausfärbung von 'Jonagold' durch kulturtechnische Manahmen. *Mitt. OVR Jork*, 44: 169-184.

FALLAHI, E.; SIMONS, B.R.; FELLMAN, J.K.; LONGSTROTH, M.A.; COLT, W.M., 1994. Tree growth and productivity and postharvest fruit quality in various strains of 'Delicious' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119(3): 389-395.

FARAGUER, J.D.; CHALMERS, D.J., 1977a. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin during ripening: regulation by ethylene and phenylalanina ammonia-lyasa. *Scientia Hortic.*, 22: 89-96.

FARAGUER, J.D.; CHALMERS, D.J., 1977b. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin. III Involvement of phenylalanina ammonia-lyasa. *Australian Journal of Plant Physiology*, 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-lyasa. *Scientia Hortic.*, 22: 89-96.

FAUST, M., 1965. Physiology of anthocyanin development in 'McIntosh' apple. I. Participation of pentose phosphate pathway in anthocyanin development. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 87: 1-9.

FAUST, M.; SHEAR, C.D., 1969. Corking disorders of apples - a physiological and biochemical review. *Bot. Rev.*, 34: 441-469.

FELIPE, A.J., 1989. Patrones pertenecientes a la especie manzano:21. En: "*Patrones para frutales de pepita y hueso*". Ediciones Técnicas Europeas, S.A. Barcelona; pág.46-99.

FERREE, D.C.; SCHMID, J.C.; MORRISON, C.A., 1982. An evaluation over 16 years of 'Delicious' strains and other cultivars on several rootstocks and 'Hardy' interstems. *Fruit Varieties Journal*, 36: 37-45.

FERRÉ, G.; MASSOL, G.; LE FUR G.; VILLENEUVE, F., 1987. Couleur des pommes et maturité. Utilisation d'un colorimetre: perspectives. *Infos-Ctifl*, 30: 19-24.

FERRÉ, G.; AUBERT, S., 1988. Pomme. Amelioration de la couleur de 'Starkrimson' par micro-aspersion. *Essais Ctifl*, 9: 508.

FERREE, D.C.; CARLSON, R.F., 1987. Apple rootstocks, 4. In: "*Rootstocks for fruit crops*". Ed. Jhon Wiley & Sons. New York; pág.107-138.

FISHER, D.V.; MEHERIUK, M.; AWALES, J.E., 1970. *Spur* and *Standard* 'Delicious' strains compared.. *British Columbia Fruit Grower Assn. Quarterely Rpt.*, 14: 7-19.

FISHER., D.V.; MEHERIUK, M.; AWALES, J.E., 1980. *Spur* and *standard* 'Delicious' strains compared. *Br. Columbia Fruit Growers Assoc. Quart. Rept.* 14(4); pág.15-21.

FISHER, D.V.; KETCHIE, D.O., 1981. Survey of literature on red strains of 'Delicious'. *Washington State Univ. Coop. Ext., Pullman. Bul.* 0898; pág.17.

FISHER, D.V.; KETCHIE, D.O., 1989. Survey of literature on red strains of 'Delicious'. *Washington State Univ. Coop. Ext., Pullman. Bul.* EB 1515; pág.23-37.

FORKMANN, G., 1991. Flavonoids as flower pigments: the formation of the natural

spectrum and its extension by genetic engineering. *Plant Breeding*, 106: 1-12.

FRANCIS, F.J., 1952. A method of measuring the skin color on apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 60: 223-226.

FRANCIS, F.J.; HARVEY, P.H.; BULSTRODE, P.C., 1955. Color and pigment changes in the flesh of 'Mcintosh' apples after removal from storage. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 65: 211.

FRANCIS, F.J.; CLYDESDALE, F.M., 1975. Food colorimetry: Theory and applications. AVI Publishing Co., Westport, CT; pág.32-87.

FRANCIS, F.J., 1980. Color quality evaluation of horticultural crops. *HortsScience*, 15: 58-59.

FRY, S.C., 1979. Phenolic components of the primary cell wall and their possible role in the hormonal regulation growth. *Planta*, 146: 343-351.

GIANFAGMA, T.J.; BERKOWITZ, G.A., 1986. Glucose catabolism and anthocyanin production in apple fruit. *Phytochem.*, 25: 607-609.

GILBERT, D.E.; MYER, J.L.; KESSLER, J.J.; LAVINE, P.D.; CARLSON, C.V., 1970. Evaporative cooling of vineyards. *Calif. Agr.* 24: 12-14.

GIVEN, N.K.; VENIS, M.A.; GRIERSON, D., 1988. Phenylalanine ammonia-lyase and anthocyanin synthesis in ripening strawberry fruits. *J. Plant Physiol.*, 133: 25-30.

GIWEN, W.; PATRICK, J., 1991. Activity of Phenilalanine ammonia-lyase and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*, 116(5):865-869.

GOLDSTEIN, J.L.; SWAIN, T., 1963. Changes in tannins in ripening fruits. *Phytochem.*, 2: 371-383.

GODRIE, P.D., 1982. Kleur en smack van 'Jonagold'. *Fruitteelt*, 45: 1314-1316.

GODRIE, P.D., 1990. Resultats obtenus dans les recherches sur les variétés et mutants de pommier aux Pais-Bas. *Le Fruit Belge*, 431: 201-205.

GOODWIN, T.W., 1980. The biochemistry of the carotenoids. Vol.1, Plants. Ed. Chapman & Hall, 2ª edición; pág.41-145.

GOTO, T.; KONDO, T., 1991. Structure and molecular staking of antocyanins - flower color variation. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 30; pág.17-76.

GORSKI, P.; CREASEY, C.L., 1977. Color development in 'Golden Delicious' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 102:73.

GRAELL, J., 1991. Frigoconservación de manzanas tratadas con Daminozida en atmósfera controlada con reducción del etileno. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya.

GRAELL, J.; IGLESIAS, I.; MARTI, R., 1993. Evaluación objetiva del color superficial en manzanas rojas del grupo 'Red Delicious'. Comunicación presentada al III Symposium Nacional sobre maduración y postrecolección de frutas y hortalizas. Sevilla, 3-5 de Junio de 1993.

GRAF, H., 1986a. Die Anwendungsbereiche des Wachstumsregulators Alar im Apfelnbau an der Niederelbe. *Mitt. OVR Jork*, 41; pág.186-201.

GUIWEN, W.; PATRICK, J., 1991. Activity of Phenylalanine ammonia-lyase and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *J. Amer. Soc Hort. Sci.*, 116(5): 865-869.

HANSEN, P.; OSTERMANN, J., 1988. Source-skin relations in fruits II. Fruit growth and composition in black currants (*Ribes Nigrum* L.). *Gartenbauwissenschaft*, 53: 155-159.

HALVORSON, A.R.; DOW, A.I., 1975. Interpretation of chemical analysis of irrigation water. Wash. St. Col. Of Agric. Extension Mimeo 3522. Pullman. WA; pág.12.

HARBORNE, J.B., 1967. Comparative biochemistry of the flavonoids, 8. In:

"*Inheritance and biosynthesis of flavonoids in plants*", Ed. Acad. Press; pág.250-271.

HARBORNE, J.B., 1986. The natural distribution in angiosperms of anthocyanins acyclated with aliphatic dicarboxylic acids. *Phytochemistry*, 25: 1887.

HEGAZI, E.S.; PLICH, H., 1980. The effect of gibberellin, auxin, cytokinin and abscisic acid on ethylene production and some other symptoms of fruit ripening in apples. *Bull. Acad. Polon. Sci., Sér. Sci. Biol.*, 28: 253-258.

HEINICKE, D.R., 1964. The micro-climate of fruit trees. III The effect of tree size light penetration and leaf area in 'Red Delicious' apple trees. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 85: 33-41.

HEINICKE, D.R., 1966. Characteristics of 'McIntosh' and 'Red Delicious' apples as influenced by exposure to sunlight during the growing season. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 89: 10-13.

HEINZMANN, U.; SEITZ, U., 1977. Synthesis of phenylalanine ammonia-lyase in anthocyanin-containing and anthocyanin-free callus of *Daucus carota* L. *Planta*, 135: 63-67.

HELLER, W.; FORKMANN, G., 1988. Biosynthesis, 11. In "*The Flavonoids*", Harborne, J.B., Ed. Chapman & Hall, London; pág.34-56.

HERRERO, A.; GUARDIA, J., 1992. Conservación de frutos, manual técnico. Ed. Mundi Prensa; pág. 97-111.

HRAZDINA, G.; CREASY, L.L., 1979. Light-induced changes in anthocyanin concentration, activity of phenylalanine ammonia-lyase, and flavonone synthase, and some other properties in *Brassica Oleracea*, *Phytochemistry*, 18: 581-589.

HULME, A.C., 1970. The biochemistry of fruits and their products. Vols.I y II, Academic Press. London; pág.56-107.

HUNTER, R.S., 1975. The measurement of appearance. Wiley-Interscience, New York.

HYODO, H., 1971. Phenylalanine ammonia-lyase in strawberry fruits. *Plant Cell Physiology*, 12: 989-991.

IBARZ, A., 1989. El color como parámetro de caracterización de los alimentos. *Teknos*, 112: 48-52.

IGLESIAS, I.; DALMAU, R.; FAYOS, B.; JIMENEZ, J.M.; REINOSO, D.; DOMEYÓ, J.A., 1989. Varietats i peus de pomera i perera. Servei d'Extensió Agrària-DARP. Generalitat de Catalunya; pág.38-58.

IGLESIAS, I., 1989a. Nuevas variedades. Ensayos "B" de manzano y peral. *Fruticultura Profesional*, 21: 2-7.

IGLESIAS, I., 1989b. Diversificación varietal (I). Las variedades rojas del grupo 'Red Delicious'. *Fruticultura Profesional*, 23: 3-17.

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., 1991a. Ensayo sobre el comportamiento de 16 variedades de manzano en el Campo Experimental de Frutales de Seana-Bellpuig (Lleida). *Inf. Téc. Econ. Agrária*, 87: 67-96.

IGLESIAS, I., 1991b. Variedades de manzano: situación actual y perspectivas. *Fruticultura Profesional*: "Especial manzano", 38: 4-22.

IGLESIAS, I., 1991c. Fruticultura en Cataluña. *Agricultura*, 709: 720-731.

IGLESIAS, I.; BOIXADERA, J., 1992. Mapa agroclimático de la zona frutera de Lleida. Versió 1.1. DARP, Generalitat de Catalunya.

IGLESIAS, I.; ONCINOS, J.A.; PRATS, X., 1994. Primeras aportaciones al comportamiento de 'Fuji' y algunos de sus mutantes en la zona tardía de Lleida (2ª parte). *Fruticultura Profesional*, 64: 4-14.

- IGLESIAS, I., 1994a. Variedades de manzano. *Revista de Hortofruticultura*, 9: 36-52.
- IGLESIAS, I., 1994b. Patrones de manzano. *Fruticultura Profesional*, 65: 5-26.
- INGLE, M., 1972. Studies on the maturity and storage behaviour of 'Red Delicious' bud-sports. W. Va. Univ. Agr. Exp. Sta. Bull. 609T; pag.24-32.
- JACKSON, J.E., 1967. Variability in fruit size and colour within individual trees. Rep. East. Malling Res. Stn. 1966; pag.110-115.
- JANSEN, A.J., 1986. Verbetering vruchtwaletet. Bevorderen van rode kleur. *Groenten Fruit*, 5: 68-70.
- JONES, R.L., 1973. Gibberellins: their physiological role. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 24: 571-598.
- KAETHER, K.E., 1965. Der Einfluß der mineralischen Stickstoffernährung auf Inhaltsstoffe des Apfels, insbesondere auf die pigments der Fruchtschale. *Gartenbauwissenschaft*, 30: 361-402.
- KAPPEL, F.; DEVER, M.; BOUTHILLER, M., 1992. Sensory evaluation of 'Gala' and 'Jonagold' strains. *Fruit Varieties Journal*, 46(1): 37-43.
- KARASZEWSKA, A.; JANKOWSKA, B.; GROCHOWSKA, M.J., 1986. Effects of growth regulator treatments on the hormone pattern in the trunk and the collar tissue of apple trees. *Acta Horticulturae.*, 179: 185-194.
- KAZARINOVA-FUKSHANSKY, N.; SEYFRIED, M.; SCHÉFER, E., 1985. Distortion of action spectra in photomorphogenesis by light gradients within the plant tissue. *Photochem. Photobiol.*, 41: 689-702.
- KARNATZ, A., 1979. Progeny analysis of self-fertilization in apple cultivars, some results. Proc. Eucarpia Fruit Section; pag. 29-39.
- KETCHIE, D.O, 1984. Flowering, spur formation and limb angles of 'Delicious' apple strains. *Fruit Varieties Journal*, 38: 150-152.
- KETCHIE, D.O, 1988. 'Delicious' strain evaluation summary. Washington State Horticultural Association. Proceedings of eighty second annual meeting; pag.106-114.
- KIKUCHI, T., 1964. Influence of fruit bag practice on coloration process in apples of different varieties. Bull. Fac. Agric., Hirosaki Univ., 10; pag.89-99.
- KLEIN, L.G., 1958. The inheritance of certain fruit characters in the apple. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 72: 1-14.
- KLEIN, R.M., 1978. Plants and near-ultraviolet radiation. *Bot. Rev.*, 44: 1-27.
- 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.
- KNEE, 1980. Methods of measuring green color and chlorophyll content of apple fruit. *J. Food Technol.* 15: 493-500.
- KRAMER., P.J., 1963. Water stress and plant growth. *Agron. J.*, 55: 31-35.
- KRAUSE, J.; REZNIK, H., 1976. Investigation on flavonol accumulation in *Fagopyrum esculentum* M. as influenced by P- and N- deficiency. *Z. Pflanzenphysiol.*, 79: 392-400.
- KUBO, Y.; TAIRA, S.; ISHIO, S.; SUGIURA, A.; TOMANA, N., 1988. Color development of 4 apple cultivars grown in the Southwest of Japan, with special reference to fruit bagging. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, 57: 191-199.
- KUO, C.G.; PHARIS, R.P., 1975. Effects of AMO-1618 and B-995 on growth and endogenous gibberelin content of *Cupressus arizonica* seedlings. *Physiol. Plant.*, 34: 288:292.
- LANCASTER, J.E., 1992. Regulation of skin color in apples. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(6): 487-502.
- LANCASTER, J.E.; GRANT, J.E.; LISTER, C.E.; TAYLOR, M.C., 1994. Skin color

in apples - Influence of copigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119 (1): 63-69.

LARRIGAUDIERE, C.; PINTÓ, E.; VENDRELL, M., 1995. Differential effects of ethefon and seniphos on color development of 'Starking Delicious' apple. Presented for publication to *J. Amer. Soc. Hort. Science*.

LARRIGAUDIERE, 1995. Color improvement on Seniphos-treated apples. Effect of the date of treatment. Annual Report, 1995; pág.12-15 (pendiente publicación).

LAU, O.L.; LIU, Y.; YANG, S.F., 1986. Effects of fruit detachment on ethylene biosynthesis and loss of flesh firmness, skin colour, and starch in ripening of 'Golden Delicious' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 111: 731-734.

LE LEZEC, M.; LESPINASSE, J.M.; MASSERON, A.; TRONEL, C.; CHARTIER, C., 1983. Les 'Delicious' Rouge. INRA, Ctifl, Paris; pág.55.

LE LEZEC, M., 1990. Etat actuel de l' experimentation variétale en pommier, essais B. *L'arboriculture fruitière*, 407: 26-33.

LESPINASSE, Y.; LESPINASSE, J.M.; GANNE, B., 1985. Inheritance of two agronomical characters in the apple tree (*Malus pumilla* Mill): Compact type habit and fruit colour. *Acta Hortic.*, 159, *Tree fruits and nuts breeding*: 35-47.

LICHOU, J.; EDIN, M.; TRONEL, C.; SAUNIER, R., 1990. Le cerisier: La cerise de table. Ctifl, Paris; pág. 333-334.

LINK, H., 1985. Alar und Ethrel im Apfelanbau. *Einsatzmöglichkeiten und Erfolgsaussichten. Erwerbsobstbau*, 27: 112-114.

LITTLE, M.T.; HILLS, F.J., 1987. Transformaciones, 12. En: "*Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*". Ed. Trillas, Mexico; pág.125-143.

LOMBARD, P.B.; WESTIGARD, P.H.; CARPENTER, D., 1966. Overhead sprinkler systems for environmental control and pesticide application in pear orchards. *HorsScience*, 1: 95-96.

LORD, W.J.; DAMON, R.A.; ANDERSON, J.F.; SOUTHWICK, F.W., 1979. Evaluation of 'Delicious' strains for fruit color, productivity, tree size and suceptibility to water core. Proceedings Massachusetts Fruit Growers Assoc. 85; pág.76-83.

LORD, W.J.; DAMON, R.A.; ANDERSON, J.F., 1980. A comparison of tree size, productivity, and fruit quality of 'Delicious' strains. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 105: 883-887.

LOSCHKE, D.C.; HADRIGER, L.A., 1981. Effects of light and or 'Fusarium Solani' on synthesis and activity of phenilalanina ammonia-lyasa in Peas. *Plant Physiol* , 68: 680-685.

LOWEL, E.L.; SAURE, M., 1964. Neue 'Cox Orange' Mutationen aus unseren Mitgliedsbetrieben. *Mitt. OVR Jork*, 19: 106-107.

LOWEL, G., 1981. Over tree irrigation for cooling for increased color. Proceedings of fifth annual warehouses seminar and trade show; pág.55-56.

LÜDDERS, P.; BÜNEMANN, G., 1969. Der Einfluß jahreszeitlich unterschiedlicher Stickstoffversorgung auf das Wachstum von Apfelbäumen.IV. Der Einfluß auf das generative Wachstum. *Gartenbauwissenschaft*, 34: 539-564.

MACRAE, K.B.; LIDSTER, P.B.; DE MARCO, A.C.; DICK, J.A., 1990. Comparison of the polyphenol profiles of apple fruit cultivars by correspondence analysis. *J. Sci. Food Agr.*, 50: 329-342.

MAEYER DE L., 1984. Colour promotion in apple. *Boer en de Tuinder*, 90: 17-21.

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

MAPA, 1995a. Anuario de Estadística Agrària-1993: 304-345.

MAPA, 1995b. Boletín mensual de Estadística-1993. Secretaria General Técnica;

pág.29-50.

MAPA, 1995c. Norma de calidad para manzanas. Secretaria General Técnica (MAPA), Madrid; pág.24.

MASSERON, A., 1986. Le choix des variétés. *Fruits et Legumes*, 36: 14-17.

MASSERON, A., 1989. Les porte-greffe du pommier. In: "*Les porte-greffe pommier, poirier et nashi*". Ctifl, Paris; pág.297.

MAYLES, K., 1989. Optimizing red color development. Proc. Wash. State Hortic. Assoc., Wenatchee, Wash.: The Association (85 th); pág.186.

McGLASSON, W.B.; WADE, N.L.; ADATO, I., 1978. Phytohormones and fruit ripening. In: "*Phytohormones and related Compounds - A Comprehensive Treatise*". D.S. Letham, P.B. Goodwin and T.J.V., Higgins (Editors), Vol.2. Elsevier; pág.447-493.

McGUIRE R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27: 125-1255.

MISIC, P.D.; TESOVIĆ, Z.V., 1971. Anthocyanin colour distribution in the skin of 'Cox's Orange Pippin' apple and its dark-red sports. *Horticulturae Research*, 11: 161-165.

MOL., J.N.M.; STUITJE, A.R.; GERATS, A.G.M.; KOES, R.E., 1988. Cloned Genes of phenyl propanoid metabolism in plants. *Plant. Mol. Biol. Rep.*, VI, 274.

MORGAN, D.C.; STANLEY, C.J.; VOLZ, R.; WARRINGTON, I.J., 1984. Summer pruning of 'Gala' apple: the relationship between pruning time, radiation penetration, and fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 109(5): 637-642.

MOSEL, H.D.; HERRMAN, K., 1974a. Changes in catechins and hidroxicinnamic acid derivates during development of apples and pears. *J. Sci. Food Agric.*, 25:251.

MOSEL, H.D.; HERMANN, K., 1974b. The phenolics of fruits III. The contents of catechins and hydroxy-cinnamic acids in pome and stone fruits. *Z. Lebensm. Unters-Forsch.*, 156; pág.6.

NAUMANN, W.D., 1964. Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Nachreife von Äpfeln der Sorten 'Jonathan' und 'Ontario'. *Gartenbauwissenschaft*, 29: 523-539.

NEVERS, P.; SHEPHERD, N.S.; SAEDLER, H., 1986. Plant transposable elements. In "*Advances in Botanical Research*", Vol. 12, Calow, J. A., Ed., Academic Press, London; pág.103.

NORO, S.; KUDO, N.; KITSUWA, T., 1988. Differences in sugar content and organic acids between red and yellow apple cultivars at time of coloring, and effect of citramalic acid on development of anthocyanin. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, 57: 381-389.

OLESZEK, W.; LEE, C.Y.; JAWORSKI, A.W.; PRICE, K.R., 1989. Identification of some phenolic compounds in apples. *J.Agr.Food Chem.*, 30: 430-432.

PLOTTO, A., 1988. Pomme: de toutes couleurs. *Fruits et Legumes*, 59: 25-27.

POLESELLO, A.; GORINI, F., 1980. Objective evaluation of the surface colour of apple fruits from cultivars of the 'Red Delicious' group. *Confructa*, Bd.25; pág.16-27.

PORTER, L.J., 1989. Tannins, 11. In: "*Methods in Plant Biochemistry*", Vol.1, Harborne, J.B., Ed., Academic Press, London; pág.123-143pp.

POWELL, A.A.; MCGUIRE, J.A., 1984. Evaluation of five non spur strains of 'Red Delicious' apples in central Alabama. Alabama Agr. Expt. Sta., Auburn. Bul. 557; pág.56.

PRABHA, T.N.; PATWARDHAN, M.V., 1985. A comparison of the polyphenolic patterns in some Indian varieties of apples and their endogenous oxidation I. *J. Food. Sci. Technol.*, 22: 404-414.

PRATT, C.; OURECKY, D.K.; EINSET, J., 1967. Variation in apple cytochimeras. *American Journal of Botany*, 54 (10): 1295-1301.

PRATT, C.; WAY, R.D.; EINSET, J., 1975. Chimeral structure of red sports of

'Northern Spy' apple. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 100(4), 419-422.

PRIMO, E., 1979. Química agrícola: Alimentos. Tomo III. Ed. Alhambra. Madrid.

PROCTOR, J.T.A.; CREASY, L.L.; 1971. Effect of supplementary light on anthocyanin synthesis in 'McIntosh' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 96: 523-526.

PROCTOR, J.T.A., 1974. Color stimulation in attached apples with supplementary light. *Can. J. Plan. Sci.*, 499-503.

PROCTOR, J.T.A.; LOUGHEED, E.C., 1976. The effect of covering apples during development. *HortScience*, 11: 108-109.

PROCTOR, J.T.A.; CREASY, L.L., 1971. Effect of supplementary light on anthocyanin synthesis in 'McIntosh' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 96: 523-526.

PROEBSTING, E.L.; DRAKE, S.R.; EVANS, R.G., 1984. Irrigation management, fruit quality, and storage life of apple. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 109(2):229-232.

PROGNOSFRUIT. Apple and pear forecast 1995 in Europe. Merano (Italy), August, 4,5; pág.122.

RAVAGLIA, G; SANSAVINI, S.; VENTURA, M.; TABANELLI, D., 1996. Indici de maturazione e miglioramento qualitativo delle pesche. *Frutticoltura*, 3: 61-66.

RECASENS, D.I.; BARRAGAN, J., 1981. Influencia del riego refrescante sobre la producción de antocianos en la manzana 'Starking Delicious'. Comunicación presentada en la IV reunión de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Salamanca.

RECASENS, D.I., 1982. Estudio de diversos parámetros fisiológicos durante el crecimiento del fruto. Aplicación a la variedad 'Starking Delicious'. Resumen de Tesis Doctoral. Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona; pág. 24-31.

RECASENS, D.I., RECASENS, J.; MOLINA, M., 1983. Influencia de las bajas temperaturas sobre la síntesis de antocianos, en variedades rojas de manzana. Comunicaciones I Congreso Nacional SECH, Valencia. Tomo II; pág.605-614.

RECASENS, D.I.; BARRAGAN, J., 1984. Utilización del riego por aspersión para obtención de un clima refrescante en plantaciones frutales: algunas experiencias en manzanos. *Inf. Téc. Econ. Agrária*, 57: 21-31.

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

ROBINSON, M., 1995. Cooling problems prompt growers to try covers. *Good Fruit Grower*, July: 24-25.

ROOIJEN VAN, W.J., 1984. Alar as a fruit colour improver. *Fruittteelt*, 74:28.

ROEMER, K., 1984. Zusammenhänge zwischen Fruchtgröße und Qualität. *Mitt. OVR Jork*, 21; pág.200-233.

RUIZ, S.R.; VALENZUELA, B.J.; MUÑOZ, S.C., 1986. Asociación de la nutrición nitrogenada con problemas de coloración en manzanas 'Granny Smith'. *Agr. Técnica*, 46: 369-371.

SALMON, W., 1993. 'Fuji' production in Washington. Personal communication; pág.1-3.

SALTER, P.J.; GOODE, 1967. Crop response to water at different stages of growth. Common Agr. Bureaux, England.

SAMARAWEEERA, M.K.S.A.; COTTINGHAM, D.G., 1980. Uptake, distribution and persistence of C12 -labelled N-dimethyl aminosuccinamic acid in fruiting apple trees. *J. Hortic. Sci.*, 55: 199-205.

SAS Institute Inc., SAS/STAT User's Guide, Version 2, Fourth Edition, Volume 1, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1990a; pág.912.

SAS Institute Inc., SAS Procedures Guide, Version 6, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1990b; pág.705.

- SAURE, M.C., 1987. Summer pruning effects in apple a review. *Scientia Hortic*, 30: 253-282.
- SAURE, M.C., 1990. External control of anthocyanin formation in apple. *Scientia Hortic.*, 42: 181-218.
- SCHUMACER, R.; STADLER, W., 1985. Einflu der Fruchtfarbe und verschiedener Ausdunnungs methoden auf die Fruchtqualität. *Schweiz. Z. Obst. Weinbau*, 121:478-483.
- SCHUMACER, R.; FRANKHAUSER, F.; STADLER, W., 1986. Influence of growth regulators, ringing and root cutting on apple quality and physiological disorders. *Acta Hortic.*, 179:731-742.
- SCHMID, P., 1967. Idaein-abbauende Enzyme in £ pfeln. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 133: 304-310.
- SCHMIDT, H.; KRUGER, J., 1983. Fruit breeding at the Federal Research Centre for horticultural plant breeding, Ahrensburg/Holstein. *Acta Horticulturae: Fruit Breeding*, 140:15-33.
- SCHULZ, H., 1969. Untersuchungen über die Farbstoffveränderungen in Apfelfrüchten während ihrer der Chlorophylle, Carotine und Carotinoide. Habilitation Universität Halle, 216.
- SCHULZ, H., 1986. Aroma-und Farbstoffe. In: "*Physiologie der Obstgehölze*", G. Friedrich, D. Neumann, M. Vogl (Editors),. Akademie, Berlin, 2nd de; pág.235-341.
- SEIPP, D.; ROEMER, K., 1984. Vergleich von Fruchtmerkmalen roter Apfelmutanten mit denen ihrer Ausgangsformen. *Gartenbauwissenschaft* , 49:131-140.
- SEYMUR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G., 1993. Colour changes, 1. In: "*Biochemistry of fruit ripening*". Ed. Chapman & Hall, London; pág.361-365.
- SIEGELMAN, H.W.; HENDRICH, S.B., 1958. Photocontrol of anthocyanin synthesis in apple skin. *Plant Physiol.*, 33: 185-190.
- SINGHA, S.; BAUGHER, T.A.; TOWNSEND, E.C., 1989. In situ measurement of fruit color development in six 'Red Delicious' strains. *HortScience*, 24: 219-224.
- SINGHA, S.; BAUGHER, T.A.; TOWNSEND, E.C.; D'SOUZA M.C., 1991a. Anthocyanin distribution in 'Delicious' apples and the relationship between anthocyanin concentration and chromaticity values. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(3): 497-499.
- SINGHA, S.; TOWNSEND, E.C.; BAUGHER T.A., 1991b. Relationship between visual rating and chromaticity values in 'Delicious' apple strains. *Fruit varieties Journal*, 45(1): 33-36.
- SINGHA, S.; BAUGHER, T.A.; TOWNSEND, C., 1994. In situ differences in fruit color development of six 'Delicious' apple strains. *Fruit Varieties Journal* , 48, 103-108.
- SMITH, H.M.; FRYE, R.E., 1964. How color of 'Red Delicious' apples affects their sales. U. S. Dept. Agr. Mktg. Res. Rpt; pág.618.
- SMITH, H.M., 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 33: 481-518.
- SMOCK, R.M., 1963. Laboratory studies of anthocyanin development in 'McIntosh' apples. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 88: 80-88.
- STAFAKIOTAKIS, E.M.; DILLEY, D.R., 1973. Internal ethylene concentration in apple fruits attached to or detached from de tree. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 98: 501-503.
- STAFFORD, H.A., 1990. Flavonoid metabolism, CRC Press, Boca Raton, Fl.; pág.57-89.
- STEVENS, R.G., 1989. Water quality for orchard cooling. Proceedings of fifth annual warehouse seminar and trade show. Washington State Horticultural Association; pág.53-54.
- STTEBINS, R., 1992. Nouvelles variétés, nouveaux gouts. *Fruits et Legumes*, 98: 19-20.

SUN, B.H.; FRANCIS, F.J., 1967. Apple anthocyanins: Identification of cyanidin 7-arabinoside. *J. Food Sci.* 32: 647-648.

SWINDEMAN, A.M.; DILLEY, D.R., 1988. Anthocyanin biosynthesis and maturity of 'McIntosh' apples as influenced by ethylene-releasing compounds. *J.Am.Soc.Hortic.Sci.*, 113: 718-723.

TAN, S.C., 1979. Relationships and interactions between phenylalanine ammonia-lyase, phenylalanine ammonia-lyase inactivating system, and anthocyanin in apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 104: 581-586.

TAN, S.C., 1980. Phenylalanine ammonia-lyase and the phenylalanine ammonia-lyase inactivating system: effects of light, temperature and mineral deficiencies. *Aust. J. Plant Physiol.*, 7: 159-167.

THAI C.N.; SHEWFELT, R.L.; GARNER, J.C., 1990. Tomato color changes under constant and variable storage temperatures: empirical models. Transactions of the ASAE. Vol.33(2); pág.607-614.

TIMBERLAKE, C.T.; BRIDLE, P., 1971. The anthocyanins of apples and pears: the occurrence of acyl derivatives. *J. Sci. Food Agric.*, 22:509-512.

TIMBERLAKE, C.F., 1981. Anthocyanins in fruit and vegetables. In Recent advances in the biochemistry of fruit vegetables. Ed. J. Friend and M.J.C. Rhodes. Academic Press; pág.241-247.

TOBIN, E.M.; SILVERTHORNE, J., 1985. Light regulation of genes expression in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 36: 569-593.

TRILLOT, M.; MASSERON, A.; TRONEL, C., 1993. Pomme: les variétés: 37-179pp, Ctifl, Paris; pág.37-179.

TUSTIN, D.S.; HIRST, P.M.; WARRINGTON, I.J., 1988. Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield, and fruit quality of 'Granny Smith' apple. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 113: 693-699.

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

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

UNRATH, C.R., 1975. Cool off for better apples. *American Fruit Grower*, 95: 11-12.

UOTA, M., 1952. Temperature studies on the development of anthocyanin in 'McIntosh' apples. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 59: 231-237.

URBINA, V., 1990. La calidad de los frutos. *Frut* Vol. II, nº2; pág.120-127.

WALKER, J.R.L., 1964. Flavonoid pigments in the skins of New Zealand apples. *N. Z. J. Sci.* 7: 585-565.

WALSH, C.S.; VOLZ, R., 1990. 'Gala' and the Red 'Gala' sports: A preliminary comparison of fruit maturity. *Fruit Varieties Journal*, 44(1): 18-22.

WALSH, C.S., 1991. Apple cultivars, current situation and future trends around de world, Australia and New Zealand. *Fruit Varieties Journal*, 45(2): 76-79.

WALTER, J.R.L., 1967. Factors affecting fruit colour in apples: a review of world literature. Rep. East Malling Res. Stn. for 1966; pág.70-82.

VAN BUREN, J., 1970. Fruit phenolics, 11. In: "The biochemistry of fruits and their products". A.C. Hulme, Vol. 1, Ed. A. C. Hulme; pág.269-300.

VAN DEN BRINK, C.; CAROLUS, L., 1965. Removal of atmospheric stresses from plants by overhead sprinkler irrigation. Mich. State Univ. Quart. Bul., 47; pág.358-363.

VAN LAER, P., 1990. Variétés de pommes pour l'avenir. *Le Fruit Belge*, 431: 211-216.

VILLOTA, R.; HAWKES, J.G., 1992. Reaction kinetics in foods systems. In:

"*Handbook of food engineering*". Heldman, D.R. & Lund, D.B. (Eds). Marcel Dekker. New York; pág.47-66.

WATANABE, S.; ARAKAWA, O., 1983. Development and the distribution of red color (anthocyanin) in the fruit skin of apple varieties. *Bull. Yamagata Univ. (Agric. Sci.)*, 9; pág.197-213.

WARNER, G., 1995a. Evaporative cooling reduces codling moth damage. *Good Fruit Grower*, March: 24-25.

WARNER, G., 1995b. Cycled system is best for evaporative cooling. *Good Fruit Grower*, March: 27-28.

WARNER, G., 1995c. Color requirement debated for top grade apples. *Good Fruit Grower*, May: 27-29.

WARNER, G., 1995d. Overhead cooling may not be total sunburn cure. *Good Fruit Grower*, July: 20-21.

WARNER, G., 1995e. Cooling problems prompt growers to try covers. *Good Fruit Grower*, July: 24-25.

WARNER, G., 1995e. No proof yet that copper sprays improve color. *Good Fruit Grower*, October: 31-34.

WARRINGTON, I.J.; STANLEY, C.J.; VOLZ, R., MORGAN, D.C., 1984. Effects of summer pruning on 'Gala' apple quality. *Orchardist of New Zealand*, 57:11, 518-522.

WARRINGTON, I.J.; FERREE, D.C.; SCHUPP, J.R.; DENNIS, F.G.; BAUGHER, T.A., 1990. Strain and rootstock effects on spur characteristics and yield of 'Delicious' apple strains. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115:348-356.

WELLMANN, E., 1983. UV radiation in photomorphogenesis, 10. In.: "*Enciclopedia of Plant Physiology*", A. Pirson and M.H. Zimmermann (Editors), New Series Vol 16b. Springer, Berlin; pág.745-756.

WESTWOOD, M.N., 1963. Some differences in growth chemical, composition and maturity between a spur mutant and standard growing 'Delicious' apples. *Proc. Wash. State Hort. Assoc.*, 59:119-120.

WESTWOOD, M.N.; ROBERTS, A.N., 1970. The relationship between trunk cross-sectional area and weight of apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 95: 28-30.

WESTWOOD, N.H., 1982. Maduración. En: "*Fruticultura de zonas templadas*". Capítulo 11. Ed. Mundi Prensa. Madrid; pág.250-267.

WHITE, A.G.; LESPINASSE, Y., 1986. The inheritance of fruit color in apple (*Malus Pumilla* Mill.). *Agronomie*, 6 (1): 105-108.

WHITE, A., 1991. The 'Gala' apple. *Fruit Varieties Journal*, 45 (1): 2-3.

WIJSMULLER, J., 1988. Kleurbepordering bij 'Jonagold', *Fruittelt*, 78: 16-17.

WILLIAMS, K.M.; MAYLES, K., 1989. Use of evaporative cooling for enhancing red color in apple. *Proc. Wash. State Hort. Assoc.*, Wenatchee, Wash.: The Association (85 th); pág.186-187.

WILLIAMS, K.M., 1989. Factors affecting color development. Proceedings of fifth annual warehouse seminar and trade show. Washington State Horticultural Association; pág.51-52.

WILLIAMS, K.M., 1993. Use of evaporative cooling for enhancing apple fruit quality. *Good fruit grower*, August: 23-27.

WILLET, M., 1989. Color development and enhancement in 'Red Delicious' using over tree irrigation. Proceedings of fifth annual warehouse seminar and trade show. Washington State Horticultural Association; pág.50.

WILLS, R.M.; LEE, T.H.; McGLASSON, W.B.; HALL, E.G.; GRAHAM, D., 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección. Ed. Acribia, Zaragoza;

pág.135.

WORKMAN, M., 1963. Color pigment changes in 'Golden Delicious' and 'Grimes Golden' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 83: 149.

YANG, S.F.; LUI, Y.; LAU, O.L., 1986. Regulation of ethylene biosynthesis in ripening apple fruits. *Acta Hortic.*, 179: 711-720.

ZELLES, L., 1967. Untersuchungen über den farbstoffgehalt der schale Ꞥ pfeln und unter verschiedenen Legerbedingungen, dissertation, Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany; pág.54.

YATSUHASHI, H.; HASHIMOTO, T., 1985. Multiplicative action of a UV-B photoreceptor and phytochrome in anthocyanin synthesis. *Protochem Photobiol.*, 41: 673-680.