

# Cambios morfológicos, químicos y físicos en la maduración de frutos de manzano

P. I. Garriz\*, H. L. Alvarez\*, A. M. Bartsch\*

## ABSTRACT

Morphological, chemical and physical characteristics of "Red Delicious" apples (*Malus domestica* Borkh.) were described through the results of a two-year experiment during maturation. Seven attributes were selected and their intensities plotted on circular graphs. The patterns changed with successive harvests and in both years there were consistent changes in biochemical activity; soluble solids and starch levels increased, while fruit firmness decreased. The greatest changes in these maturity indexes occurred over the last two weeks of the study, in both seasons. During the same period, fresh weight, length (L) and diameter (D) of the fruits continued to grow. There were no substantial changes in fruit shape (L/D ratio).

Key words: Growth, fruit maturity, apples, circular graph, harvesting.

## RESUMEN

Las características morfológicas, químicas y físicas de los frutos de manzano (*Malus domestica* Borkh.) cv. Red Delicious, resultantes de un estudio de dos años durante la maduración, fueron descritas por medio de gráficos circulares y se seleccionaron siete características. Los perfiles variaron con sucesivas recolecciones y, en ambos años, ocurrieron marcados cambios en la actividad bioquímica: el contenido de sólidos solubles y los niveles de almidón aumentaron y la firmeza de la pulpa disminuyó. Las mayores tasas de cambio en estos índices se produjeron entre las dos últimas semanas de estudio, en ambas temporadas. Durante el mismo período, los frutos continuaron creciendo en peso fresco, largo (L) y diámetro (D). No hubo cambios sustanciales en la forma del fruto (relación L/D).

Palabras-clave: Crecimiento, madurez del fruto, manzanas, gráfico circular, cosecha.

## INTRODUCCIÓN

En la fruticultura moderna, la obtención de cosechas constantes y de buena calidad es una necesidad económica; por ello, el productor debe empeñarse en mejorar la calidad de los frutos, adoptando cuidados culturales que respeten el medio ambiente (Drahorad 1993). Los factores que intervienen en la obtención de frutos de manzano de buena calidad son múltiples; uno de los más importantes y, probablemente, el menos comprendido, es la elección del momento adecuado de cosecha. Este aspecto, crucial para la industria, varía de acuerdo con el manejo comercial —consumo inmediato o almacenamiento prolongado— e involucra una serie de aspectos, como madurez interna, apariencia externa (color, tamaño y forma), disponibilidad de mano de obra y conservación, condiciones climáticas y dimensión del cultivo y estrategia del mercado (Mrachek *et al.* 1982; Reyes 1992).

Un método confiable para determinar el inicio óptimo de la cosecha debería incluir, además de las características superficiales, la evolución de los índices de madurez con base en los procesos fisiológicos

durante el desarrollo del fruto. Entre ellos se pueden citar la firmeza, los sólidos solubles y el contenido de ácidos y de almidón, el sabor y el número de días después de plena floración (CPVQ s.f.; Olsen 1969). El último índice constituye una de las guías comúnmente utilizadas para establecer el período de recolección; sin embargo, como varía considerablemente aun en una misma área en función de las condiciones climáticas, es necesario complementarlo con otras mediciones.

Los frutos cosechados precozmente son susceptibles a escaldaduras, acorchado o "bitter pit" y deshidratación en el almacenamiento; tienen escaso tamaño y menor color de superficie, con sabor astringente y aroma débil. Según Savouré (1980), los ácidos málico y cítrico representan cerca del 80% de la acidez de las manzanas inmaduras y desaparecen gradualmente durante la maduración. Las manzanas cosechadas demasiado tarde son muy grandes, con pocas reservas, corta vida de conservación y propensión a podredumbres. En el caso de la producción integrada, que no admite tratamientos químicos en poscosecha, el momento adecuado de recolección es una práctica alterna para reducir o eliminar la ocurrencia de los desórdenes fisiológicos (Francile 1987; Westwood 1982).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la evolución de los atributos morfológicos y físico-químicos en los frutos de manzano cv. Red Delicious durante dos

1 Recibido el 18 de julio de 1994.

Los autores agradecen al Profesor Armando O. Alvarez por las sugerencias aportadas en la elaboración de los gráficos.

\* Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue c.c. 85, 8303 C. Saltos, R.N., Argentina.

temporadas y proponer una representación gráfica circular que permita medir y comparar las diferentes variables analizadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNC), Provincia de Río Negro, Arg. (38°56' latitud Sur, 67°59' longitud Oeste, altura 250 msnm en las temporadas 1987/1988 y 1988/1989, años 1 y 2, respectivamente). Se seleccionaron cinco árboles de "Red Delicious", con 24 años de edad, injertados sobre "Northern Spy". Se practicaron las tareas habituales en la región en cuanto a tratamientos sanitarios, raleo, fertilización y riego.

El tipo de conducción fue tradicional, con una distancia entre plantas de 5 x 6 metros. El suelo fue clasificado como Torrifluvents franco-grueso térmico calcáreo. Las fechas en que tuvo lugar la plena floración (80% de las flores abiertas) fueron 8/10/1987 para el año 1 y 29/09/1988 para el año 2. Se recolectaron semanalmente cuatro frutos por árbol a la altura del hombro, en las orientaciones N, S, E y O, una semana antes y tres semanas después de la fecha de sello, o día de referencia para iniciar la recolección—determinado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca— con base en los días transcurridos desde la floración hasta la madurez comercial.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio, donde se determinó el peso fresco en gramos con balanza granataria, el diámetro ecuatorial y el largo en centímetros con un calibrador Vernier. La concentración de sólidos solubles (SS) fue medida con un refractómetro manual ERMA (Tokio, Japón) (0-32%), a temperatura ambiente, en jugo proveniente de dos posiciones opuestas del fruto. El contenido de almidón fue determinado usando la prueba de yodo-almidón. Los frutos fueron cortados en el plano ecuatorial y la mitad inferior, correspondiente al cáliz, fue colocada en solución de Lugol (1 g de IK y 0.25 g de I en 100 ml de agua) durante dos minutos. El índice de almidón en la superficie cortada del fruto fue determinado de acuerdo a Reid *et al.* (1982).

La presión de pulpa fue obtenida con un penetrómetro Efeggi, (Alfonsine, Italia) usando un puntal de 11 mm en dos posiciones opuestas del fruto.

Se elaboraron gráficos circulares, semejantes a los utilizados por Watada *et al.* (1980) en manzanas y por Badoux (1993) en gramíneas, a fin de evaluar la evolución semanal conjunta de la apariencia externa y la calidad interna de los frutos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variaciones estacionales e interanuales de los índices de madurez

En el Cuadro 1 se muestra la evolución de las variables asociadas al tamaño de los frutos durante los años 1 y 2. El peso de los mismos, al final de ambos experimentos, fue compatible con la preferencias de los mercados europeos en cuanto a calibres comerciales (Erl y Proctor 1989).

Cuadro 1. Variaciones en el peso, largo, diámetro y forma de los frutos de manzano cv. Red Delicious (Año 1: temporada 1987/1988; año 2: temporada 1988/1989).

dpt <sup>1</sup>	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Relación L/D <sup>2</sup>
<b>Año 1</b>				
125	156.27	6.52	6.98	0.93
132	167.19	6.63	7.14	0.93
139	178.65	6.78	7.20	0.94
146	193.68	6.98	7.50	0.93
153	208.10	7.14	7.60	0.94
<b>Año 2</b>				
127	127.85	5.94	6.70	0.89
134	137.36	6.03	6.83	0.88
141	146.86	6.13	6.97	0.88
148	152.59	6.22	7.08	0.88
155	158.32	6.32	7.20	0.88

Notas:

- <sup>1</sup> dpt: días después de plena floración  
<sup>2</sup> Relación L/D: relación largo/diámetro

En el Cuadro 2 se presentan los cambios en los indicadores de maduración del fruto. La presión o firmeza de pulpa disminuyó en las sucesivas cosechas; el rango de lecturas del test de presión entre la primera y la última fue de 20.00 - 16.68 lb para el año 1 y de 19.90 - 17.21 lb para el año 2. Durante la maduración y senescencia de los frutos se producen numerosos cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos, comprometiendo la reorganización de los componentes celulares y de los procesos metabólicos, controlados en forma integrada por varias hormonas vegetales.

Cuadro 2. Evolución de los índices de madurez en frutos de manzano cv. Red Delicious (Año 1: temporada 1987/1988; año 2: temporada 1988/1989).

dpf <sup>1</sup>	Presión (lb)	Sólidos solubles (%)	I.A. <sup>2</sup>
Año 1			
125	20.00	10.18	2.0
132	19.24	10.21	2.0
139	18.36	10.87	2.1
146	17.82	11.16	2.4
153	16.68	11.88	3.00
Año 2			
127	19.90	9.58	1.5
134	18.51	9.56	1.6
141	18.31	10.21	2.0
148	17.61	10.36	2.6
155	17.21	11.41	3.2

Nota:

<sup>1</sup> dpf: días después de plena floración

<sup>2</sup> I.A.: índice de almidón (escala: 1 = almidón distribuido uniformemente y 6 = sin almidón).

Los cambios estructurales en las paredes celulares que inducen al ablandamiento de los tejidos en los frutos climatéricos están relacionados con los cambios respiratorios y son iniciados por la acción del etileno, la hormona de la maduración (Abetes 1985). El gran aumento en la producción de etileno coincide con el estado de madurez de consumo del fruto. Intervienen enzimas de degradación (Griegson *et al.* 1985) y se ha informado que la endopoligalacturonasa es responsable de los cambios más significativos. En manzanas "McIntosh", Wu *et al.* (1993) detectaron su presencia durante el proceso de maduración.

El índice de almidón aumentó en función del tiempo, reflejando la hidrólisis gradual de este componente; la mayor amplitud correspondió al año 2: 1.5 a los 127 días después de plena floración (dpf) y 3.2 a los 155 después de plena floración. La degradación comenzó desde la región de los carpelos y se extendió hacia la epidermis. Knee (1987) estudió los metabolitos relacionados con la degradación del almidón; los intermediarios fosforilados disminuyeron a medida que avanzó la fecha de cosecha, mientras que los azúcares libres (glucosa, fructosa y sacarosa) se acumularon. Los cambios en estos componentes fueron menos pronunciados que los del almidón. Peereboom-Voller *et al.* (1988) indicaron que, a medida que disminuye el tenor de almidón, los frutos mejoran en calidad pero pierden las características necesarias para el almacenamiento, y los que poseen un alto contenido

de almidón son rechazados por el consumidor por su textura inapropiada.

Los valores iniciales y finales de concentración de SS fueron 10.18 - 11.88% y 9.58 - 11.41% en los años 1 y 2, respectivamente. La maduración del fruto implica la hidrólisis de polisacáridos a oligo- y monosacáridos, produciéndose nuevas sustancias (ésteres, cetonas, aldehídos, entre otros); también está asociada con una mayor intensidad respiratoria, un incremento abrupto en la producción de etileno, la degradación de clorofila y el contenido creciente de carotenoides y antocianinas (Sebanek 1992).

Según Olsen (1987), a medida que la temporada avanza se produce un cambio en la tasa de maduración, reflejado en distintos índices de madurez. Los cambios marcados en cada medición pueden ser utilizados para predecir la iniciación de la madurez adecuada para una larga conservación. Los valores recomendables de SS, índice de almidón y presión en el momento de la cosecha para "Red Delicious" son 10%, 1.5 - 2.0 y 18 lb, respectivamente (Mrachek *et al.* 1982; Olsen 1982).

En este estudio, el sello de cosecha en los años 1 y 2, 132 y 134 dpf respectivamente, fue anterior a la fecha más recomendada para iniciar la recolección, a juzgar por los cambios conjuntos detectados en las tasas de variación de los diferentes índices de madurez y los valores absolutos recomendados. Las mayores tasas de cambio se produjeron entre las dos últimas semanas en ambas temporadas.

En un trabajo realizado con manzanas cv. Braeburn, Tustin *et al.* (1993) informaron que los índices de calidad y madurez afectados por la fecha de cosecha incluían el índice de almidón, la firmeza de pulpa y la concentración de SS; sin embargo, las diferencias debidas a esta variable no fueron evidentes en poscosecha. Por otra parte, Knee y Smith (1989) encontraron que algunas variaciones en los atributos de calidad después del almacenamiento se debían a cambios en los mismos en la cosecha.

### Gráficos circulares

Los valores de las diferentes variables fueron transformados a una escala lineal de 0 a 10 (Cuadro 3), para la representación gráfica circular de las características de los frutos, mediante la siguiente ecuación, propuesta por Chambers *et al.* (1983):

$$u_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (u_{\max} - u_{\min}) + u_{\min}$$

donde:

$u_i$  es el valor transformado;

$x_i$  es el valor promedio de cada variable;

$$x_{\min} = \min_i (x_i);$$

$$x_{\max} = \max_i (x_i);$$

$u_{\max}$  y  $u_{\min}$  son los valores extremos de la escala.

En la Fig. 1 se muestran las variaciones estacionales de los diferentes índices de calidad en los años 1 y 2. El cero fue ubicado en el centro de los gráficos circulares, de manera que las variables aumentarían hacia el exterior, con excepción de la presión, cuyo eje fue invertido para facilitar la interpretación global por tratarse de valores decrecientes.

Cuadro 3. Valores transformados de las mediciones en los frutos de manzano, a una escala de 0 a 10. Los datos entre paréntesis indican el rango considerado para cada variable (Año 1: temporada 1987/1988; año 2: temporada 1988/1989).

dpf <sup>1</sup>	ssc <sup>2</sup>	Presión (16-21)	S.S. <sup>3</sup> (9-12)	I.A. <sup>4</sup> (1-4)	Peso (116-209)	Largo (5-8)	Diámetro (6-8)	Rel. L/D <sup>5</sup> (0.8-1.0)
Año 1								
125	-1	8.00	3.93	3.33	4.33	5.00	4.90	6.50
132	sello	6.48	4.00	3.33	5.50	5.43	5.70	6.50
139	+1	4.72	6.23	3.66	6.73	5.93	6.00	7.00
146	+2	3.64	7.20	4.66	8.35	6.60	7.50	6.50
153	+3	1.36	9.60	6.66	9.90	7.13	8.00	7.00
Año 2								
127	-1	7.80	1.90	1.62	1.24	3.31	3.50	4.50
134	sello	5.00	1.90	2.09	2.29	3.43	4.15	4.00
141	+1	4.62	4.00	3.34	3.32	3.76	4.85	4.00
148	+2	3.22	4.53	5.30	3.93	4.00	5.40	4.00
155	+3	2.42	8.00	7.30	4.23	4.40	6.00	4.00

Nota:

<sup>1</sup> dpf: días después de plena floración. <sup>2</sup> ssc: semanas en relación al sello de cosecha.

<sup>3</sup> S.S.: concentración de sólidos solubles. <sup>4</sup> I.A.: índice de almidón.

<sup>5</sup> Rel. L/D: relación largo/diámetro

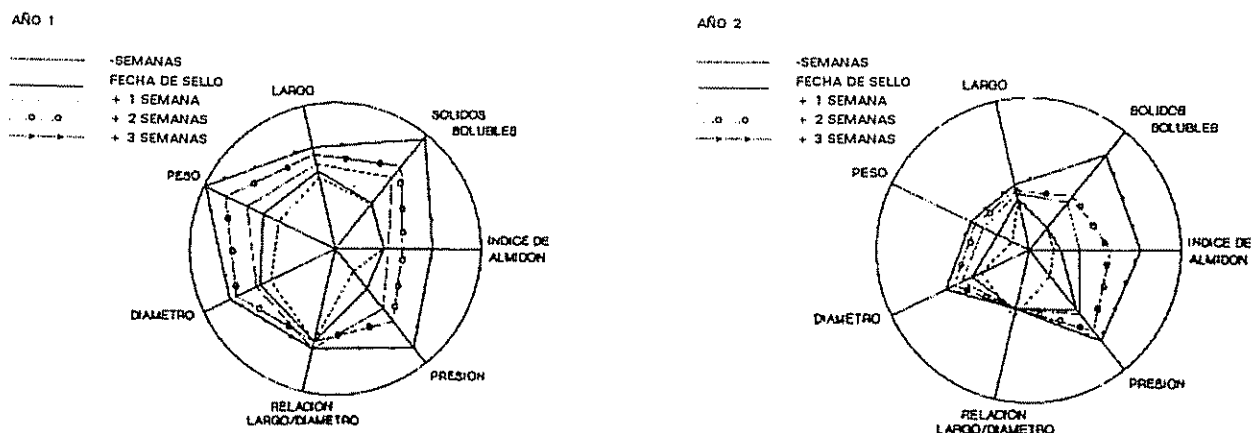


Fig. 1. Representación gráfica de los indicadores de madurez en frutos de manzano cv. Red Delicious recolectados en diferentes fechas relativas al sello de cosecha.

Nota: Las escalas aumentan hacia la periferia del círculo, excepto la presión, que está invertida. Las variables se describen en el Cuadro 3.

En ambas temporadas, el tamaño y la forma de los patrones cambiaron las sucesivas fechas de cosecha y su área se incrementó en función del tiempo. No se detectaron cambios marcados en la forma de los frutos (relación L/D), ya que las variables L y D aumentaron en forma proporcional (Cuadro 1).

Se encontraron cambios en la velocidad y patrón general de maduración en las manzanas entre los años 1 y 2 (Fig. 1). Según Mrachek *et al.* (1982), la variación en los índices de madurez entre años, así como entre frutos, árboles y huertos, es inherente a los sistemas biológicos. En el cv. Cox, se encontró que, comparando la calidad de los frutos cosechados en una fecha dada, las diferencias entre años eran considerables (Knee y Smith 1989). La maduración en los frutos de manzano es un proceso que puede ser afectado por numerosos factores (Autio 1991), como la nutrición, la carga frutal (Johnson 1992; Volz *et al.* 1993), la orientación en el árbol (Tustin y Hirst 1988), la provisión de agua (Erl y Proctor 1989), el tiempo desde floración, la relación entre hoja y fruto, la combinación genética del cultivar y el portainjerto (Autio 1991) y las condiciones climáticas.

Se proyecta continuar con el estudio de la evolución de los índices de madurez, ya que un mayor conocimiento de los mismos antes de la cosecha, durante ella, y el almacenamiento permitirán definir su valor predictivo para mejorar la calidad de los frutos.

### CONCLUSIONES

- Se encontraron variaciones estacionales e interanuales en la evolución de los distintos indicadores de madurez en relación a la edad del fruto —determinada a partir de los días después de plena floración—, lo que refuerza la necesidad de un análisis conjunto de los mismos para determinar el momento óptimo de cosecha.
- La técnica del gráfico circular permitió caracterizar las variables morfológicas y físico-químicas de los frutos de manzana y comparar los datos a través de los perfiles desarrollados en función del tiempo, estableciendo tendencias en su evolución. Como los patrones cambian con la madurez de la manzana en las sucesivas cosechas, este método permite el análisis conjunto de los mismos.

### LITERATURA CITADA

- ABETES, F.B. 1985 Ethylene and plant development: An introduction. In Ethylene and plant development. J.A. Roberts, G.A. Tucker (Eds.). Butterworths, London. p. 1-8.
- AUTIO, W.R. 1991 Rootstocks affect ripening and other qualities of "Delicious" apples. Journal American Society of Horticultural Science 116(3):378-382.
- BADOUX, S. 1993 Elfina: Première variété suisse de fêtuque élevée. Revue Suisse d'Agriculture 25(3):177-180.
- CHAMBERS, J.M.; CLEVELAND, W.S.; KLEINER, B.; TUKEY, P.A. 1983 Graphical methods for data analysis. N Jersey, Bell Telephone Labs. 395 p.
- CPVQ (CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC). s.f. Pommier: Culture. Agdex 211/20, Publicación 02-9104. 65 p.
- DRAHORAD, W. 1993 Producción integrada en fruticultura: Experiencia en el Alto Adige. In Curso Internacional de Sanidad en Frutales de Pepita (1993). cap. 3. p. 1-22.
- EPF (ENTE PROVINCIAL DE FRUTICULTURA), (ARG.). 1988. Calidad para exportación Río Negro Comunicación Frutícola 32:2.
- ERL, J.A.; PROCTOR, J.T.A. 1989. Growth, mineral nutrition and leaf water status of mature apple trees subjected to various crop loads and soil water conditions. Journal of American Society of Horticultural Science 114(2):191-196.
- FRANCILE, C. 1987. Cosecha de manzanas. Diario de Río Negro; feb. 22:2.
- GRIEGSON, D.; SLATER, A.; SPEIRS, J.; TUCKER, G.A. 1985. The appearance of polygalacturonase mRNA in tomatoes: One of a series of changes in gene expression during development and ripening. Planta 163:263-271.
- JOHNSON, D.S. 1992. The effect of flower and fruit thinning on the firmness of 'Cox's Orange Pippin' apples at harvest and after storage. Journal of Horticultural Science 67(1):95-101.
- KNEE, M. 1987. Metabolic and developmental changes in fruit and their effect on consumer acceptability. In International Symposium Chemical Changes During Food Processing (1984, Valencia, Spain). Proceedings. S.B. Poveda (Ed.). Valencia, IUFOS, IATA. p. 345-354.
- KNEE, M.; SMITH, S.M. 1989. Variation in quality of apple fruits stored after harvest on different dates. Journal of Horticultural Science 64:413-419.
- MRACHEK, L.L.; KRUPFERMAN, E.M.; OLSEN, K.I. 1982. Starch iodine examined for apple maturity test. The Goodfruit Grower; Dec. 62-63.

- OLSEN, K.L. 1969. When is an apple mature enough to give consumer satisfaction, and when is it overmature. Washington State Horticultural Proceedings 65:30-34.
- OLSEN, K.L. 1982. Picking maturity of apples. Information Bulletin No. 496. p. 1-13.
- OLSEN, K.L. 1987. La maduración de la manzana. Revista Frutícola 8(1):3-6.
- PEERBOOM-VOLLER, C.; COUVILLON, G.A.; LORETI, F. 1988. Elija el momento adecuado para la cosecha. Información y Estadísticas Frutícolas (CORPOFRUT) 36:16-18.
- REID, M.S., PADFIELD, C.A.S.; WATKINS, C.D.; HARMAN, J.E. 1982. Starch iodine pattern as a maturity index for Granny Smith apple: 1. Comparison with flesh firmness and soluble solids content. New Zealand Journal of Agricultural Research 25:229-237.
- REYES, M.S. 1992. Evolución de los índices de madurez en peras asiáticas. Revista Frutícola 13:93-98.
- SAVOURE, B. 1980. Manipulations pratiques en physiologie végétal. Paris, Masson. 259 p.
- SEBANEK, J. 1992. Plant physiology. Netherlands, Elsevier. Developments in Crop Science 21:453.
- TUSTIN, D.S.; HIRST, P.M. 1988. Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield and fruit quality of 'Granny Smith' apple. Journal of American Society of Horticultural Science 113(5):693-699.
- TUSTIN, D.S.; WATKINS, C.B.; CASHMORE, W.M.; BROOKFIELD, P.L. 1993. Sources of variation in fruit quality of "Braeburn" apple at harvest and after storage. HortScience 28(5):446.
- VOLTZ, R.K.; FERGUSON, I.B.; BOWEN, J.H.; WATKINS, C.B. 1993. Crop load effects on fruit mineral nutrition, maturity, fruiting and tree growth of 'Cox's Orange Pippin' apple. Journal of Horticultural Science 68(1):127-137.
- WATADA, A.E.; ABBOTT, J.A.; HARDENBURG, R. 1980. Sensory characteristics of apple fruit. Journal of the American Society of Horticultural Science 105(3):371-375.
- WESTWOOD, M.H. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Madrid, Mundiprensa. 461 p.
- WU, Q.; SZAKACS-DOBOZI, M.; HEMMAT, M.; HRAZDINA, G. 1993. Endopolygalacturonase in apples (*Malus domestica*) and its expression during fruit ripening. Plant Physiology 102:219-225.