

EFFECTO DE LA CONSERVACIÓN REFRIGERADA EN LA CALIDAD DE LIMONES ‘FINO’ RECOLECTADOS EN DIFERENTES POSICIONES DEL ÁRBOL

Vicente Serna-Escolano^{1*}, Jesús Antonio-Alonso¹, Gema González-Tenza¹, Ana Micaela Solivella-Poveda¹, Marina Giménez-Berenguer¹ y María José Giménez-Torres¹.

1: Departamento de Tecnología de Alimentos, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández, Ctra. Beniel km 3.2, 03312 Alicante, España.
e-mail: vserna@umh.es

Resumen: *Los productores de limón demandan estrategias y herramientas que les permitan mejorar la gestión de los frutos. En este sentido, la posición del limón ‘Fino’ en el árbol puede determinar la calidad del fruto en el momento de la recolección, mientras que el sistema de conservación aplicado en post-cosecha colabora en mantener estables dichas características iniciales. Por lo tanto, en este trabajo se ha estudiado el efecto de la posición del limón en el árbol (exterior-superior, exterior-inferior e interior), seguido de una conservación durante 15 días a 10 °C. Los resultados tras 15 días de conservación refrigerada mostraron que la tasa de respiración y las pérdidas de peso fueron menores en los frutos recolectados en las zonas internas del árbol. En cambio, color (a^*), sólidos solubles totales y acidez titulable fueron superiores en los frutos de las zonas externas. Respecto al contenido en fenoles totales y actividad antioxidante total, los resultados mostraron una mayor concentración en la zona interior del árbol. Por lo tanto, un manejo adecuado de los frutos durante la recolección y la aplicación de estrategias de frío colaborarían en mantener unos parámetros de calidad óptima del limón durante su comercialización.*

Palabras clave: limón, conservación refrigerada, posición en el árbol, sólidos solubles totales, acidez titulable.

1. INTRODUCCIÓN

El limón (*Citrus limon* L. Burm.f.) es una fruta cuyo zumo es muy apreciado por los consumidores de todo el mundo debido a su sabor único, alto valor nutricional y compuestos bioactivos [1]. Los consumidores exigen altos estándares de calidad en el limón que afectan en gran medida a sus preferencias de compra. Entre los principales problemas a los que se enfrenta la industria del limón durante la campaña de producción se encuentra la presencia de frutos excesivamente maduros, en los cuales las pérdidas de calidad y la incidencia de podredumbres aumentan notablemente.

La posición del fruto en el árbol está muy relacionada con el proceso de desarrollo, maduración y calidad final. En este sentido, la luz solar, la temperatura y la humedad son importantes parámetros que se encuentran condicionados a la zona en la cual se encuentre el fruto. Así, un aumento en la exposición a la luz se reflejó en un incremento considerable de azúcares y ácidos orgánicos en pomelo [2]. En peras y manzanas, también se ha observado que los frutos de las zonas externas tenían un mayor contenido en sólidos solubles totales que los que se encontraban en las partes internas [3]. Respecto al color en cítricos, está relacionado con la acumulación de carotenoides. La luz es uno de los factores determinantes que regulan la biosíntesis de carotenoides. Así, en mandarinas embolsadas y otras recolectadas de las zonas internas de los árboles se desarrollaron coloraciones más claras que las que estaban expuestas directamente a la luz, que presentaban un color naranja más intenso [4]. En cuanto a los compuestos bioactivos, se ha publicado en diversos estudios que tanto el contenido en fenoles totales y actividad antioxidantes de los frutos están relacionados con la posición que estos ocupan en el árbol [5,6]. En la actualidad, durante el procesado del limón en fresco se aplica refrigeración de 6 a 12 °C y 85 % de humedad relativa para mantener los parámetros de calidad estables durante un mayor tiempo en postcosecha. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comprobar el efecto de la posición del limón 'Fino' en el árbol en la calidad durante la conservación refrigerada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal y diseño experimental

Los limones utilizados para este experimento pertenecen a una finca de uso comercial localizada en La Murada (Orihuela, Alicante) en las coordenadas 38°9'28.526"N 0°58'24.823"W. Las características climáticas mostraron una temperatura media de 18 °C y unas precipitaciones de 47,6 mm/ día durante la campaña 2019-2020. Los limones pertenecen a la variedad 'Fino' injertada sobre *Citrus aurantium* con una edad de los árboles de 8-10 años. La recolección se realizó el 12 de febrero de 2024 basándose en los criterios de corte recomendados por los técnicos de campo. Se seleccionaron 12 árboles al azar, a los cuales se les recolectaron 15 frutos (sin daños físicos apreciables, homogéneos en tamaño, color y localizados en todo el perímetro del árbol mezclando frutos del Este y del Oeste) en cada una de las 3 zonas en las que fue dividido el árbol (Figura 1): exterior-superior, exterior-inferior e interior.



Figura 1. División del árbol para su recolección.

Se prepararon 2 lotes para cada una de las 3 zonas con 10 limones en cada una de las 3 réplicas. Los lotes fueron almacenados en refrigeración a una temperatura de 8 °C y una humedad relativa del 85 %. A los 0 y 21 días se tomó al azar un lote de 10 frutos por réplica y tratamiento para realizar las distintas determinaciones analíticas.

2.2. Parámetros de calidad

Las pérdidas de peso fueron determinadas utilizando una balanza (modelo WLC 2/ A2; Radwag wagi Elektroniczne, Radom, Polonia) con 2 cifras decimales de precisión. Los resultados (media±ES) se expresaron como el porcentaje (%) de pérdida de peso de cada lote con respecto a su peso inicial. El color se midió en tres puntos de la zona ecuatorial del fruto utilizando un colorímetro Minolta (CRC200; Minolta, Osaka, Japón), y los resultados (media±ES) se expresaron utilizando el parámetro a^* . Los sólidos solubles totales (SST) del zumo se determinaron en el zumo del fruto por duplicado mediante refractometría. Para ello se utilizó el refractómetro digital (modelo Hanna HI96801; Hanna Instruments, Rhode Island, EE.UU.), y los resultados (media±ES) se expresaron como g equivalentes de sacarosa por 100 mL⁻¹ (°Brix) de zumo. La acidez titulable (AT) se determinó por duplicado en el mismo zumo con un titulador automático (modelo 785 DMP Tritino; Metrohm, Herisau, Switzerland) con un electrodo de pH con sensibilidad de ±0,01 pH. Se usaron 0,5 mL de zumo diluido en 25 mL de agua destilada, y titulando con NaOH 0,1 N hasta alcanzar el pH 8,1. Los resultados de AT (media±ES) se expresaron como g equivalentes de ácido cítrico en 100 mL⁻¹.

2.3 Tasa de respiración

La tasa de respiración se midió a temperatura ambiente, colocando cada limón individualmente en frascos de vidrio de 0.5 L cerrados herméticamente durante 60 min. A continuación, se tomó 1 mL de la atmósfera generada en el espacio de cabeza y se cuantificó el CO₂ utilizando un cromatógrafo de gases (modelo 14B-GC; Shimadzu, Kioto, Japón) acoplado a un detector de conductividad térmica. Los resultados (media±ES) de la tasa de respiración se expresaron como mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Las condiciones cromatográficas fueron previamente descritas [7].

2.3 Contenido en fenoles totales y actividad antioxidante

La extracción se realizó homogeneizando 2 g de flavedo con 15 mL de agua:metanol (2:8, volumen (v):v) que contenía 2,0 mM fluoruro de sodio. Los extractos se centrifugaron a 10.000×g durante 20 min a 4 °C. El contenido fenólico total se midió por duplicado en cada extracto de flavedo anterior utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (0,2 N) tal y como se ha publicado anteriormente [8]. Los resultados (media±ES) se expresaron como mg de ácido gálico equivalente por 100 g⁻¹ peso fresco (PF). La actividad antioxidante total se midió por duplicado en cada muestra de extracto, utilizando el método de ABTS-peroxidasa [9] Los resultados (media±ES) se expresaron como mg equivalentes de Trolox 100 g⁻¹ PF.

2.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se expresaron como media ± EE de tres réplicas aleatorias. Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y se realizó una prueba de rangos múltiples (prueba HSD de Tuckey) para encontrar diferencias significativas (P < 0,05) entre tratamientos, utilizando SPSS, versión 22 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pérdidas de peso (PP) fueron siempre inferior al 5 %. Dichas pérdidas de peso fueron aumentando en todos los frutos durante el almacenamiento a 10 °C. Sin embargo, los frutos recolectados de la zona superior del árbol mostraron unos valores más elevados, mientras que los recolectados de la zona inferior e interna mantuvieron unas PP menores, sin diferencias significativas (p < 0,05) entre ellos, tal y como se puede observar en la Tabla 1. Respecto a la tasa de respiración (TR), al inicio del ensayo, los frutos recolectados de la zona superior del árbol mostraron unos resultados superiores al resto de frutos que mostraron una TR más contenida. Estas diferencias en la TR se mantuvieron durante el almacenamiento refrigerado, lo que podría explicar las diferencias en las PP (Tabla 1). Estos resultados coinciden con los publicados en mandarina ‘Nadorcott’ y pomelo [10,11]. Ambos estudios demostraron que la posición del fruto en el árbol fue un factor determinante para la apariencia externa del fruto, calidad físico química y la senescencia.

Tabla 1. Efecto de la posición del fruto en las pérdidas de peso (%), tasa de respiración (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), sólidos solubles totales (° Brix), acidez titulable (g 100 g⁻¹) y color (a^*) en limones ‘Fino’ almacenados durante 21 días a 8 °C.

Posición árbol	Día de almacenamiento	Pérdidas de peso	Tasa de respiración	Sólidos solubles totales	Acidez titulable	Color
Exterior-inferior	0		16,4 ± 0,5 c	10,3 ± 0,3 a	7,5 ± 0,1 b	0,9 ± 0,1 b
Exterior-superior			18,5 ± 0,4 a	10,1 ± 0,4 a	8,1 ± 0,2 a	4,1 ± 0,3 a
Interior			17,8 ± 0,4 b	9,4 ± 0,4 b	7,4 ± 0,1 b	0,8 ± 0,2 b
Exterior-inferior	21	2,3 ± 0,2 b	14,3 ± 0,5 b	10,1 ± 0,4 a	7,0 ± 0,2 a	2,2 ± 0,3 b
Exterior-superior		3,2 ± 0,3 a	17,7 ± 0,6 a	9,8 ± 0,3 a	7,2 ± 0,3 a	5,8 ± 0,4 a
Interior		1,8 ± 0,2 b	13,8 ± 0,5 b	9,2 ± 0,5 b	7,2 ± 0,2 a	1,9 ± 0,3 b

Las diferentes letras minúsculas indican las diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las posiciones de acuerdo al Test de Tuckey.

Los sólidos solubles totales (SST) mostraron diferencias entre las zonas interna y externa, pero no entre los frutos de la zona superior e inferior del árbol en el momento de la recolección. Además, estas diferencias se mantuvieron a lo largo del almacenamiento refrigerado tal y como se observa en la Tabla 1. En cuanto a la acidez titulable (AT), se observaron diferencias entre los frutos recolectados de la zona superior del árbol, respecto a los que fueron recolectados de la zona inferior e interna en el momento de la recolección. Durante el almacenamiento refrigerado la acidez de los frutos se igualó, pero en los frutos recolectados de la zona superior del árbol el descenso de AT fue de un 12 %, mientras que en los frutos recolectados de las zonas inferiores e internas el descenso fue de apenas un 5 % (Tabla 1). Estos resultados son coherentes con los publicados en pomelo de la variedad ‘Marsh’, en los cuales, se observó que los frutos recolectados de las zonas superiores mostraban una degradación mayor de los ácidos orgánicos y los azúcares, lo que limitaría su vida útil [12]. Los valores de color (parámetro a^*) fueron mayores en los frutos recolectados de las zonas superiores del árbol, manteniendo esas diferencias durante el almacenamiento refrigerado (Tabla 1). El color en el limón está relacionado con la acumulación de carotenoides en la piel, que a su vez está condicionado por la exposición a la luz, lo que coincide con resultados observados en otros cítricos como naranjas y mandarinas [4].

Tabla 2. Efecto de la posición del fruto en el árbol en el contenido en fenoles totales ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) y la actividad antioxidante total ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en limones ‘Fino’ almacenados durante 21 días a 8°C .

Posición árbol	Día de almacenamiento	Contenido fenoles totales	Actividad antioxidante total
Exterior-inferior	0	367,3 ± 5,7 a	408,3 ± 8,7 a
Exterior-superior		255,2 ± 8,9 c	305,2 ± 9,9 c
Interior		273,3 ± 9,7 b	333,3 ± 9,7 b
Exterior-inferior	21	377,83 ± 8,6 a	395,3 ± 9,3 a
Exterior-superior		261,24 ± 7,7 c	298,2 ± 10,1 c
Interior		282,33 ± 8,3 b	324,7 ± 8,2 b

Las diferentes letras minúsculas indican las diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las posiciones de acuerdo al Test de Tuckey.

Respecto al contenido en fenoles totales y la actividad antioxidante total se observaron resultados parecidos tal y como se puede ver en la Tabla 2. Así, los frutos recolectados de la zona superior mostraron valores menores que los frutos recolectados de las zonas inferiores e internas del árbol en el momento de la recolección y tras el almacenamiento refrigerado. Estos resultados fueron similares a los observados en mandarina, en los cuales, los frutos recolectados de las zonas internas del árbol mostraron una mayor actividad antioxidante que los de la parte externa [10]. Estos resultados podrían estar relacionados con la exposición de los frutos a las bajas temperaturas y a la radiación solar. Ya que las bajas temperaturas promueven la acumulación de compuestos fenólicos en la piel, y la radiación solar promueve, en general, su fotooxidación cuando el fruto se encuentra completamente desarrollado y la piel comienza a deteriorarse [13].

4. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la posición del fruto en el árbol tiene un efecto en la calidad fisicoquímica de los limones. Así, los frutos localizados en las posiciones inferiores e internas del árbol tienen una mejor calidad que los frutos situados en las posiciones superiores. Además, también es importante señalar que aplicar técnicas de refrigeración adecuadas en postcosecha colabora en mantener la calidad inicial del fruto durante más tiempo.

REFERENCIAS

- [1] Serna-Escolano V, Martínez-Romero D, Giménez MJ, Serrano M, García-Martínez S, Valero D, Valverde JM, Zapata PJ. Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage, *Food Chem.* 2021, 338, 128044.
- [2] Keller M. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2010, 16, 56-69.
- [3] Kalcsits L, Mattheis J, Giordani L, Reid M, Mullin K. Fruit canopy positioning affects fruit calcium and potassium concentrations, disorder incidence, and fruit quality for ‘Honeycrisp’ apple. *Can. J. Plant Sci.* 2019, 99, 761-771.
- [4] Lado J, Alós E, Manzi M, Cronje PJR, Gómez-Cadenas A, Rodrigo MJ, Zacarías L. Light Regulation of Carotenoid Biosynthesis in the Peel of Mandarin and Sweet Orange Fruits. *Front. Plant Sci.* 2019, 10, 1288.
- [5] Kaucic M, Vukovic M, Gašpar L, Fruk G, Vidrih R, Necemer M, Fruk M, Jatoi MA, Fu D, Kobav MB, Jemric T. The effect of canopy position on the fruit quality parameters and contents of bioactive compounds and minerals in ‘Braeburn’ apples. *Agronomy* 2023, 13, 2523.
- [6] Lu X, Zhao C, Shi H, Liao Y, Xu F, Du G, Xiao H, Zheng J. Nutrients and bioactives in Citrus fruits: Different Citrus varieties, fruit parts, and growth stages. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021, 5, 1–24.
- [7] Guillén F, Díaz-Mula HM, Zapata PJ, Valero D, Serrano M, Castillo S, Martínez-Romero D, *Aloe arborescens* and *Aloe vera* gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest Biol Technol.*, 2013, 83:54–57.
- [8] Serna-Escolano V., Valverde JM, García-Pastor ME, Valero D, Castillo S, Guillén F, Martínez-Romero D, Zapata PJ, Serrano M. Pre-harvest methyl jasmonate treatments increase antioxidant systems in lemon fruit without affecting yield or other fruit quality parameters. *J. Sci. Food Agric.* 2019, 99, 5035–5043.
- [9] Martínez-Esplá A, Zapata PJ, Valero D, Martínez-Romero D, Díaz-Mula HM, Serrano M. Preharvest treatments with salicylates enhance nutrient and antioxidant compounds in plum at harvest and after storage. *J. Sci. Food Agric.* 2018, 98, 2742–2750.
- [10] Navarro-Calderón A, Magwaza LS, Terry LA, Alamar MC. Unveiling biomarkers for postharvest resilience: the role of canopy position on quality and abscisic acid dynamics of ‘Nadorcott’ clementine mandarins. *Front. Hortic.* 2024, 3, 1353070.
- [11] Ncama K, Magwaza LS, Fawole OA, Tesfay SZ, Opara UL. Investigating pre-symptomatic biochemical markers related to ‘Marsh’ grapefruit (*Citrus × paradisi* Macfad) susceptibility to chilling injury and rind pitting disorders. *Acta Hortic.* 2018a, 1201, 131–138.
- [12] Olarewaju OO, Magwaza LS, Fawole OA, Tesfay SZ, Opara UL. Comparative effects of canopy position on physicochemical properties of ‘Marsh’ grapefruit during non-chilling postharvest cold storage. *Sci. Hortic.* 2018, 241, 1–7.
- [13] Feng Y, Li S, Jia R, Yang J, Su Q, Zhao Z. Physiological characteristics of sunburn peel after apple debagged. *Molecules* 2022, 27, 3775.