

# EFFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS POST-COSECHA CON FLUJO DE AIRE CALIENTE SOBRE LA CALIDAD DE LIMONES 'FINO'

Vicente Serna-Escolano<sup>1</sup>, Alicia Dobón Suárez<sup>1</sup>, María Emma García Pastor<sup>1</sup>, María José Giménez Torres<sup>1</sup>, Fátima Badiche-El Hilali<sup>1</sup>, Pedro Javier Zapata Coll<sup>1</sup> y Juan Miguel Valverde Veracruz<sup>1</sup>

*Departamento Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) Universidad Miguel Hernández Ctra. de Beniel, Km 3.2, 03312, Desamparados (Orihuela)*

Vicente Serna-Escolano  
vserna@umh.es

.....

**Resumen:** Los productores de limón demandan herramientas que incrementen la vida útil de los frutos durante la comercialización. En este trabajo se ha estudiado el efecto de realizar una cuarentena de 24 h a 37 °C y a 42 °C, previo al almacenamiento a 10 °C. Se han evaluado los principales parámetros de calidad del limón: pérdidas de peso (PP), firmeza y color. Además, se ha determinado la tasa de respiración (TR) y la incidencia de podredumbres. Los resultados mostraron un descenso en las PP y la incidencia de podredumbres, mientras que la firmeza y el color no presentaron diferencias entre los frutos expuestos a 37 °C y los frutos sin tratar. A 42 °C la calidad del fruto disminuyó drásticamente. Por lo tanto, el uso de cuarentenas a 37 °C durante 24 horas podrían ser consideradas como herramientas efectivas para mantener la calidad del limón durante el almacenamiento a 10 °C.

**Palabras clave:** limón, flujo de aire caliente, pérdidas de peso, firmeza, podredumbres.

## 1. INTRODUCCIÓN

El limón (*Citrus limon* L. Burm.f.) es una fruta muy apreciada por los consumidores de todo el mundo debido a su sabor único, alto valor nutricional y compuestos bioactivos. 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 el limón en post-cosecha destacan las pérdidas de peso, daños por frío y la incidencia de podredumbres provocadas principalmente por los hongos *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum*, entre otros. Siendo el control de los defectos provocados por la acción de los hongos fitopatógenos el objetivo principal. En la actualidad el control se realiza principalmente con el uso de compuestos de síntesis química como el imazalil, el tiabendazol o el pirimetanil. Estas herramientas son las que proporcionan a los productores los mejores resultados. Sin embargo, las administraciones sanitarias están promoviendo el desarrollo de alternativas sin residuos más seguros para el consumidor y respetuosos con el medio ambiente. En este sentido, el uso de atmósferas modificadas, aceites esenciales o sales inorgánicas se han mostrado como herramientas eficaces para mejorar el control de las enfermedades post-cosecha.

El pre-acondicionamiento térmico es una herramienta novedosa que tiene un importante efecto en la estructura del fruto y los sistemas antioxidantes. Se conoce que los tratamientos térmicos promueven la actividad de dos importantes enzimas antioxidantes de la piel

del fruto, la peroxidasa (POX) y la superóxido dismutasa (SOD), que alivian los procesos de peroxidación lipídica, lo que mejora la estructura celular. Por otro lado, también se ha publicado el aumento de la enzima polifenoloxidasas (PPO), lo que mejora la resistencia de los tejidos a enfermedades. Es importante señalar que la mayor parte de los resultados anteriores han sido obtenidos en tratamientos de inmersión en agua caliente. Respecto al uso del flujo de aire caliente Schirra et al., demostró que en naranjas sanguinas expuestas a 37 °C durante 48 horas se empeoraban significativamente los parámetros de calidad. Por lo tanto, existe cierta controversia sobre la utilización del aire caliente para el mantenimiento de la calidad de los frutos durante el almacenamiento refrigerado. Así pues, el presente estudio tuvo como objetivo investigar los efectos de los tratamientos con flujo de aire caliente en la calidad post-cosecha de limones de la variedad 'Fino'.

## 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 Cartagena (Región de Murcia), 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 macrophylla* con una edad de los árboles de 8-10 años. La recolección se realizó el 12 de enero de 2020 basándose en los criterios de corte recomendados por los técnicos de campo. Para los ensayos post-cosecha se seleccionaron limones sin daños físicos apreciables, homogéneos en tamaño y color. Se prepararon 4 lotes para cada tratamiento con 10 limones en cada una de las 3 réplicas. Durante las primeras 24 horas de ensayo, los limones se almacenaron a tres temperaturas diferentes; controles (20 °C), a 35 °C y a 42 °C. Transcurrido ese periodo de tiempo todos los lotes se almacenaron a 10 °C con una humedad relativa del 85 al 90 %. A los 0, 5, 10 y 15 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 Radwag WLC 2/A2 (Radwag wagi Elektroniczne; Radom, Polonia) con 2 cifras decimales de precisión. Los resultados se expresaron como el porcentaje (%) de pérdida de peso de cada lote con respecto a su peso inicial. La firmeza se midió con el analizador TX-XT2i (Stable Microsystems; Godalming, Reino Unido) acoplado a una sonda que presenta una placa con un disco de acero plano. Para determinar la firmeza del fruto el disco de acero de la sonda aplicó una fuerza constante sobre la superficie del fruto, hasta producirle una deformación del 5 % respecto a su diámetro ecuatorial. Los resultados se expresaron en N mm<sup>-1</sup>. El color se midió en tres puntos de la zona ecuatorial del fruto utilizando un colorímetro Minolta (CRC200; Minolta, Osaka, Japón) y los resultados se expresaron utilizando el ángulo Hue. La incidencia de podredumbres se cuantificó calculando el porcentaje de fruta podrida (frutos con ablandamiento y/o crecimiento de micelio) independientemente para cada tratamiento. Los resultados de podredumbres se muestran respecto al porcentaje (%) de podridos acumulados. Todos los parámetros se midieron de forma individual en cada fruto de cada réplica, siendo los resultados la media ± EE.

### 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 durante 60 min. A continuación, se tomó 1 mL de la atmósfera generada en el hueco de cabeza y se cuantificó el CO<sub>2</sub> utilizando un cromatógrafo de gases (Shimadzu 14B-GC; Kioto, Japón) acoplado a un detector de conductividad térmica. La tasa de respiración se expresó como mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

## 2.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos durante la evaluación del efecto de los tratamientos con flujo de aire caliente se expresaron como la media  $\pm$  EE de tres réplicas aleatorias. Los datos obtenidos durante la post-cosecha se sometieron al análisis de la varianza (ANOVA) y se realizó una comparación múltiple aplicando el método LSD de Fisher para encontrar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los limones tratados con aire caliente y sin tratar. Los análisis se realizaron utilizando SPSS, versión 22 (IBM Corp.; Armonk, Estados Unidos).

## 3. RESULTADOS

Las pérdidas de peso (PP) fueron aumentando en todos los tratamientos durante el almacenamiento a 10 °C (Figura 1A). Sin embargo, los frutos tratados durante 24 horas a 42 °C y los controles tuvieron mayores PP que los frutos tratados a 37 °C. Tal y como se puede observar en la Figura 1A, las mayores diferencias entre los tratamientos se dieron a los 15 días de almacenamiento a 10 °C, con unas PP en los frutos expuestos a 42 °C y controles un 55 % y un 26 %, respectivamente, superiores a los expuestos a 37 °C. Respecto a la tasa de respiración (TR), al inicio del ensayo los 3 tratamientos mostraron grandes diferencias debido a las temperaturas utilizadas durante la cuarentena de 24 horas previa al almacenamiento a 10 °C (Figura 1B). Así, los frutos expuestos a 42 °C y 37 °C tuvieron una TR 2,60 y 1,75 veces, respectivamente, superior a los frutos control (día 0). Durante el almacenamiento a 10 °C la TR descendió en todos los tratamientos, sin embargo, el mayor descenso lo experimentaron los frutos expuestos a 37 °C, los cuales se igualaron a los controles. Por el contrario, la TR de los frutos expuestos a 42 °C fue superior durante todo el ensayo (Figura 1B).

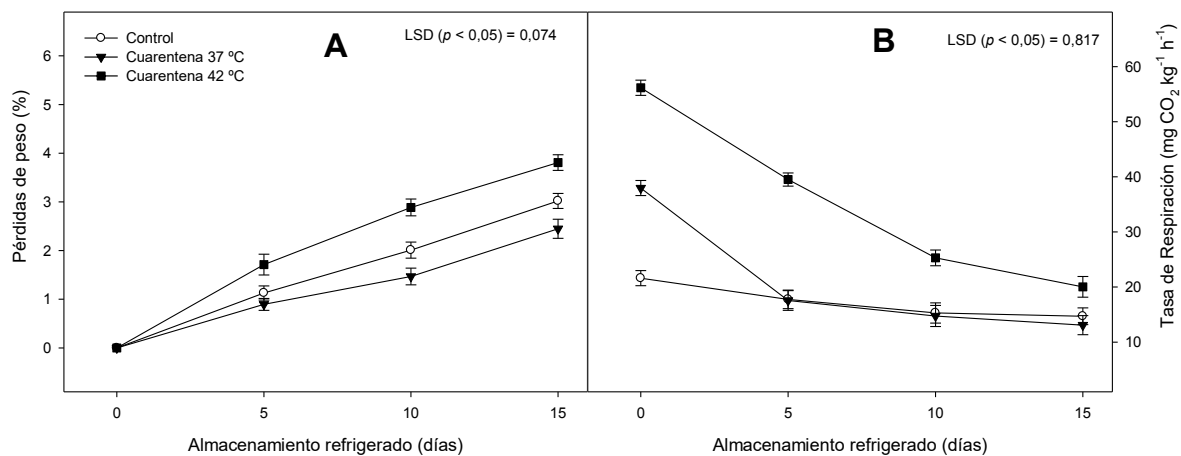


Figura 1. Efecto de las cuarentenas a 37 °C y 42 °C en las pérdidas de peso (A) y la tasa de respiración (B) en limones almacenados durante 15 días a 10 °C. LSD muestra las diferencias significativas entre los tratamientos en  $p > 0,05$ .

Respecto a la firmeza, descendió en todos los tratamientos durante el almacenamiento a 10 °C tal y como se puede observar en la Figura 2A. Los frutos control y tratados a 37 °C tuvieron los mayores valores de firmeza (6,7 y 6,2 N mm<sup>-1</sup>, respectivamente) al inicio del ensayo. Además, estos valores se mantuvieron durante el almacenamiento a 10 °C, sin experimentar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los frutos control y los tratados a 37 °C (Figura 2A). Por el contrario, los frutos expuestos a 42 °C tuvieron un 34 % menos de firmeza que los frutos control en el día 0, estas diferencias se mantuvieron durante todo el almacenamiento a 10 °C (Figura 2A). En cuanto al color, no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) al comparar los diferentes tratamientos, ya que tuvieron valores idénticos al inicio del ensayo, y durante el almacenamiento a 10 °C este parámetro evolucionó de la misma forma en todos los tratamientos (Figura 2B).

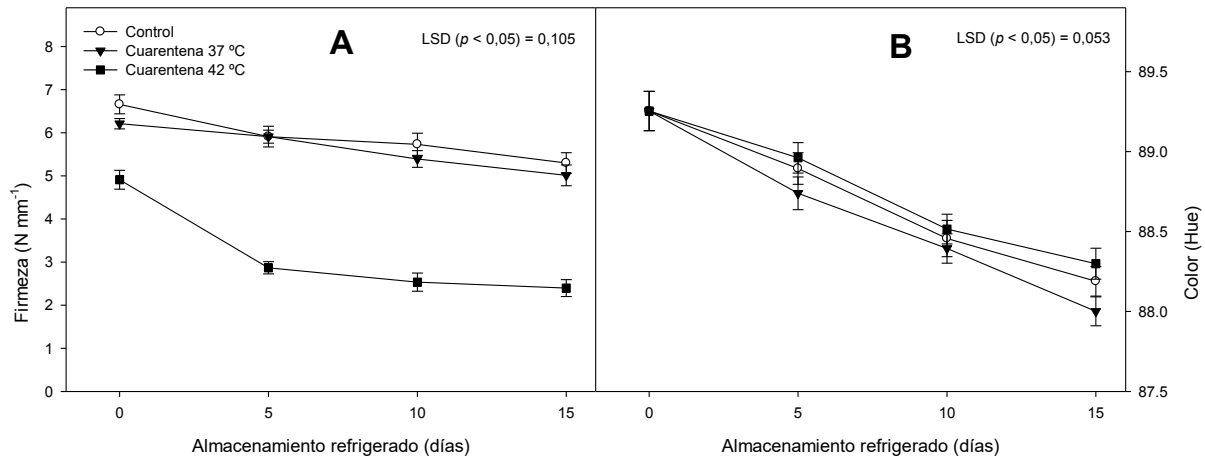


Figura 2. Efecto de las cuarentenas a 37 °C y 42 °C en la firmeza (A) y el color (B) en limones almacenados durante 15 días a 10 °C. LDS muestra las diferencias significativas entre los tratamientos en  $p > 0,05$ .

Finalmente, se cuantificó la incidencia de podredumbres en todos los tratamientos con los resultados que se muestran en la Figura 3. Tras 15 días de almacenamiento a 10 °C se observó que en las muestras tratadas a 42 °C y los controles la incidencia era 14 y 9 veces, respectivamente, mayor a las muestras tratadas a 37 °C.

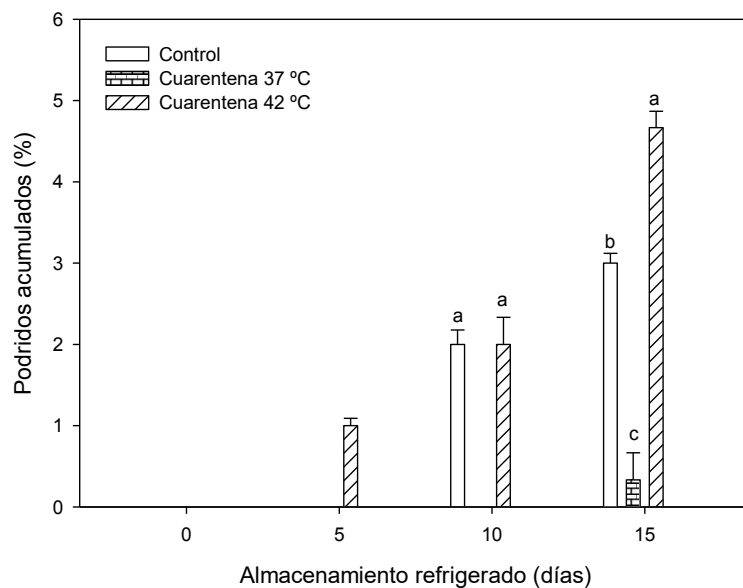


Figura 3. Efecto de las cuarentenas a 37 °C y 42 °C sobre la incidencia de podredumbres en limones almacenados durante 15 días a 10 °C. Las diferentes letras minúsculas muestran las diferencias entre los tratamientos en  $p < 0,05$ .

#### 4. DISCUSIÓN

Los tratamientos post-cosecha de inmersión con agua caliente han sido ampliamente estudiados, sin embargo, las publicaciones relacionadas con la utilización de flujo de aire caliente (FAC) son menos numerosas. Los resultados de este estudio mostraron que el FAC afectó significativamente a las pérdidas de peso, firmeza e incidencia de podredumbres en los limones. En este sentido, los resultados también mostraron la importancia de optimizar la temperatura aplicada, ya que tiene una gran influencia en el impacto del FAC sobre la calidad de los frutos.

Las pérdidas de peso (PP) durante el almacenamiento refrigerado es algo común en las frutas, sin embargo, los tratamientos con flujo de calor o agua caliente en cítricos provocan una distribución homogénea de las ceras que forman parte de la cutícula del fruto, sellando las posibles microfracturas del flavedo y reduciendo la evapotranspiración por esta vía. Por esta razón este tipo de tratamientos suele reducir las PP, o al menos, no las aumentan. En este sentido, Opio et al reportaron que los tratamientos de inmersión con agua caliente reducían la tasa de respiración (TR) y limitaban la producción de etileno en limas durante los primeros 45 días de almacenamiento debido a la redistribución de ceras en la piel, lo que formó una barrera que interrumpió el intercambio de gases. La firmeza es un parámetro que está directamente relacionado con la turgencia celular y el grosor de la piel, y que a su vez determina la aceptación de fruto por parte de los consumidores. Según García et al, los cítricos tratados térmicamente mostraron un ablandamiento significativamente menor o igual a los que no recibieron el tratamiento. Estos resultados coinciden con los publicados en aguacate (Eaks, 1978), tomate (Biggs et al., 1988) o manzana (Klein et al., 1990). Los tratamientos térmicos inducen la desmetilación de las moléculas de pectina que forman la pared celular, y favorecen la formación de interacciones electrostáticas entre dichas moléculas que mejoran la consistencia de la pared celular. Estos resultados son consistentes con los que se presentan en este ensayo en relación a las PP, TR y firmeza. Por el contrario, la exposición a una temperatura excesiva puede provocar daños en la piel, lo que provocará una pérdida de calidad del fruto, tal y como se ha podido observar en las muestras tratadas a 42 °C. El color no mostró diferencias significativas entre los distintos tratamientos aplicados, lo que coincide con lo publicado por Valero et al. en limones tratados a 45 °C durante 10 min. Sin embargo, otros autores han relacionado los tratamientos térmicos con una coloración más clara en mandarinas. Este efecto ha sido atribuido a su vez a un descenso de la actividad de las enzimas que degradan la clorofila de la piel en cítricos.

Por otro lado, los tratamientos térmicos a 37 °C redujeron de forma significativa la incidencia de podredumbres en este estudio. La mayor parte de las podredumbres en los limones se desarrollan por la acción del hongo *P. digitatum*. El calor puede afectar a estructuras importantes del hongo como las paredes celulares y el núcleo, desnaturalizando proteínas y promoviendo la acumulación de compuesto tóxicos en el interior celular. A mayor temperatura más efectividad en el control del crecimiento de los hongos, siendo el factor limitante la fitotoxicidad provocada por el calor al fruto. Por lo tanto, la mayor parte de los tratamientos térmicos aplicados no son letales para el hongo. El desarrollo de resistencias a los tratamientos térmicos es un tema de gran importancia. Además, de forma indirecta, los tratamientos térmicos pueden promover cambios estructurales en la piel del fruto, como es el caso de la reestructuración de las ceras que recubren la cutícula, o la inducción de la biosíntesis de compuestos con actividad antifúngica como fitoalexinas, quitinasas o proteínas de choque térmico.

## 5. CONCLUSIONES

Los tratamientos térmicos aplicados en este experimento tuvieron resultados dispares, siendo los limones tratados a 37 °C los que mejor mantuvieron los parámetros de calidad durante el almacenamiento a 10 °C. Por otro lado, los tratamientos a 42 °C produjeron un empeoramiento general de la calidad del fruto, generando una respuesta fitotóxica. Estos resultados han demostrado la importancia de la optimización de la temperatura en los tratamientos térmicos para conseguir el mejor efecto. Además, estos resultados podrían utilizarse como una aplicación práctica para iniciar un proceso de escalado industrial para esta tecnología en post-cosecha, que colabore en mantener la calidad del fruto y reducir la incidencia de podredumbres durante el almacenamiento refrigerado.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Çengel Y. Heat and mass transfer - a practical approach, McGraw-Hill, 3ª ed., 2006.
- [2] Braun JE. Methodologies for the design and control of central cooling plants, tesis doctoral, Universidad de Wisconsin, Madison, USA, 1988.
- [3] Rabehl RJ. Parameter estimation and the use of catalog data with TRNSYS, proyecto final de carrera, Universidad de Wisconsin, Madison, USA, 1997.
- [4] Braun JE, Klein SA, Mitchell JW. Effectiveness models for cooling towers and cooling coils, ASHRAE Transactions, 1989, 95:164-174.
- [5] Jin GY, Cai WJ, Wang YW, Yao Y. A simple dynamic model of cooling coil unit, Energy Conversion and Management, 2006, 47:2659-2672.
- [6] Rabehl RJ, Beckman WA, Mitchell JW. Parameter estimation and the use of catalog data with TRNSYS, Proc. 5th International IBPSA Conference Building Simulation'97, Praga, República Checa, vol. II, 17-24, 1997.
- [7] Ruivo CR, Costa JJ, Figueiredo AR. Influence of altitude on the behavior of solid desiccant dehumidification system; en Nóbrega CEL, Brum NCL (editores): Desiccant-assisted cooling, fundamentals and applications, Springer, 2014, 85-107.
- [8] ASHRAE Handbook - Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2005.
- [9] Título documentación, <http://www.roccheggiani.it/eng>, consultado el 2015.05.20.

J