

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
Máster Universitario en Tecnología y Calidad Agroalimentaria



**ESTUDIO DE LOS CAMBIOS
FISIOLÓGICOS DURANTE LA
MADURACIÓN DE LAS
VARIEDADES DE LIMÓN ‘EUREKA’,
‘FINO’ Y ‘VERNA’**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Septiembre – 2020

AUTOR: Díaz Puertas Rocío

**DIRECTOR/ES: Zapata Coll Pedro Javier
Vicente Serna Escolano**



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

VISTO BUENO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2019/2020

Director/es del trabajo
Pedro Javier Zapata Coll Vicente Serna Escolano

Dan su visto bueno al Trabajo Fin de Máster

Título del Trabajo
Estudio de los cambios fisiológicos durante la maduración de las variedades de limón 'Eureka', 'Fino' y 'Verna'.
Alumno
Rocío Díaz Puertas

Orihuela, a 22 de Septiembre de 2020

PEDRO
JAVIER|
ZAPATA|COLL

Firmado digitalmente por
PEDRO JAVIER|
ZAPATA|COLL
Fecha: 2020.09.22
15:23:45 +02'00'

VICENTE|
SERNA|
ESCOLANO

Firmado digitalmente por
VICENTE|SERNA|
ESCOLANO
Fecha: 2020.09.22
17:27:22 +02'00'

Firma/s tutores trabajo



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Título: Estudio de los cambios fisiológicos durante la maduración de las variedades de limón 'Eureka', 'Fino' y 'Verna'.

Title: Study of the physiological changes during the ripening of the lemon varieties 'Eureka', 'Fino' and 'Verna'

Modalidad (proyecto/experimental): Experimental

Type (project/research): Research

Autor/Author: Rocío Díaz Puertas

Director/es/Advisor: Pedro Javier Zapata Coll

Convocatoria: Septiembre 2020

Month and year: September 2020

Número de referencias bibliográficas/number of references: 41

Número de tablas/Number of tables: 2

Número de figuras/Number of figures: 7

Número de planos/Number of maps: 0

Palabras clave (5 palabras): color, actividad antioxidante total, fenoles totales, firmeza, acidez.

Key words (5 words): color, total antioxidant activity, total phenols, firmness, acidity.



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

RESUMEN (mínimo 10 líneas):

El estudio en campo del limón (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) hasta su recolección nos permite obtener información de momentos clave durante su desarrollo, pudiendo clasificar el cultivo según sus necesidades, optimizando el uso de insumos y mejorando la calidad de la fruta recolectada, como el consumidor reclama. En este trabajo se ha llevado a cabo el seguimiento de los procesos de maduración y desarrollo del limón. Para ello, se seleccionaron tres variedades de una misma finca según el momento de su recolección: 'Fino' y 'Eureka' sobre patrón *Citrus macrophylla* y 'Verna' sobre patrón *Citrus aurantium*, teniendo una cosecha temprana, intermedia y tardía, respectivamente. El tamaño, peso y color de los frutos aumentaron durante todo el muestreo hasta la recolección siguiendo un proceso normal de desarrollo, observándose, evidentemente, un incremento más lento en la variedad 'Verna'. La firmeza disminuyó con el tiempo en todas las variedades salvo en la 'Verna', la cual experimentó un incremento inicial coincidiendo con las etapas tempranas del desarrollo del fruto, seguido de una bajada progresiva hasta su recolección, como el resto de las variedades. Los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT) mostraron una tendencia decreciente en todas las variedades durante su desarrollo, salvo en la variedad 'Verna'. Tanto el contenido en fenoles totales (CFT) como la actividad antioxidante total (AAT) fueron disminuyendo conforme avanzaba el desarrollo del fruto, sin embargo, el contenido en fenoles totales del zumo en la variedad 'Verna' fue mayor que en 'Fino' y 'Eureka'. Además, la AAT de 'Verna' y 'Eureka' fue mayor que la de 'Fino' durante todo el muestreo. Este estudio muestra cómo los parámetros de calidad varían en las diferentes etapas de crecimiento del fruto en el árbol y entre variedades, lo que podría servir para la aplicación de tratamientos en momentos clave del desarrollo y establecer el momento justo para la recolección.

ABSTRACT (10 lines or more):

The field study of the lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) until its harvest allows us to obtain information on key moments during its development, thus being able to classify the crop according to its needs, optimizing the use of inputs and improving the quality of the collected fruit, as the consumer claims. In this work, the monitoring of the ripening and development processes of the lemon has been carried out. For this purpose, three varieties were selected from the same farm according to the time of collection: 'Fino' and 'Eureka' on the *Citrus macrophylla* rootstock and 'Verna' on the *Citrus aurantium* rootstock, having an early, intermediate and late harvest, respectively. The size, weight and color of the fruits increased throughout the sampling until harvest, following a normal development process, evidently observing a slower increase in the 'Verna' variety. Firmness decreased over time in all varieties except the 'Verna', which experienced an initial increase coinciding with the early stages of fruit development, followed by a gradual decline until harvest, like the rest of the varieties. Total soluble solids (SST) and titratable acidity (AT) showed a decreasing trend in all varieties during their development, except for the 'Verna' variety. Both the content in total phenols (CFT) and the total antioxidant activity (AAT) were decreasing as the development of the fruit progressed, however, the content in total phenols of the juice in the 'Verna' variety was higher than in 'Fino' and 'Eureka'. Furthermore, the AAT of 'Verna' and 'Eureka' was higher than that of 'Fino' throughout the sampling. This study shows how the quality parameters vary in the different stages of fruit growth on the tree and between varieties, which could be used for treatment applications at key moments of development and establish the right moment for harvesting.



Programa Científico

Fecha	24 de septiembre de 2020
9:00-9:15	Ceremonia de Apertura
9:15-10:00	Conferencia Inaugural: La investigación en la Comunidad Valenciana: ayudas disponibles para recién graduados. Dr. Ángel Carbonell (Universidad Miguel Hernández)
Sesión 1	Recursos Fitogenéticos, Mejora y Biotecnología en Producción Vegetal. Moderador: Dr. Pedro Martínez Gómez (CEBAS-CSIC Murcia).
10:00-10:45	Presentaciones Orales
10:00-10:15 S1-O1	Evaluación y selección de la generación BC4 del programa de mejora de la EPSO-UMH para la introducción del gen ty-5. <i>J.A. Cabrera, J.F. Salinas, P. Carbonell, A. Grau, A. Alonso, S. García-Martínez y J.J. Ruiz</i>
10:15-10:30 S1-O2	Evaluación de líneas de mejora de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Muchamiel con resistencia genética a virus y menor carga de ligamiento durante el año 2019. <i>M.E. Sánchez, J.A. Cabrera y S. García-Martínez</i>
10:30-10:45 S1-O3	Recuperación de la variedad de cáñamo (<i>Cannabis sativa</i> L.) cultivada tradicionalmente en la Vega Baja del Segura durante el siglo XX. <i>S. García-Martínez, V. Rodríguez, R. Andreu, M. Valdés, A. Grau y J.J. Ruiz</i>
10:45-11:00	Presentación en Póster
S1-P1	Evaluación de nuevos híbridos de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Muchamiel con resistencia genética a virus. <i>J.F. Salinas, J.A. Cabrera, P. Carbonell, A. Grau, A. Alonso, S. García-Martínez y J.J. Ruiz</i>
S1-P2	Caracterización de variedades tradicionales de tomate tipo Muchamiel. <i>A. Soler, J. F. Salinas, A. Alonso y M. Asunción</i>

S1-P3	<p>Caracterización de distintas variedades tradicionales de tomate tipo Pera.</p> <p><i>M. Asunción, J. F. Salinas, A. Alonso, A. Soler</i></p>
11:00-11:15	Pausa Café
Sesión 2	<p>Horticultura, Citricultura, Fruticultura, Viticultura y Protección de Cultivos.</p> <p>Moderador: Dr. Pablo Melgarejo Moreno (Universidad Miguel Hernández).</p>
11:15-12:30	Presentaciones Orales
11:15-11:30 S2-O1	<p>Estudio de cicadélidos (Hemiptera: Cicadellidae) en cultivos herbáceos y leñosos.</p> <p><i>F. Martín-Pérez, M. Cantó-Tejero, J. Nicolás y P. Guirao</i></p>
11:30-11:45 S2-O2	<p>La incorporación de selenio en la solución nutritiva disminuye la toxicidad del cadmio en plantas de pimiento cultivadas en condiciones hidropónicas.</p> <p><i>R. Pérez-Millán, M. Alfosea-Simón, E.A. Zavala-Gonzalez, F. García-Sánchez, S. Simón-Grao</i></p>
11:45-12:00 S2-O3	<p>Respuestas fisiológicas, nutricionales y metabólicas en plantas de tomate a la aplicación foliar de los aminoácidos Aspártico, Glutámico y Alanina.</p> <p><i>M. Alfosea-Simón, S. Simón-Grao, E. A. Zavala-Gonzalez, J.M. Cámara-Zapata, J.J. Martínez-Nicolás, V. Lidón y F. García-Sánchez</i></p>
12:00-12:15 S2-O4	<p>Características morfológicas del limón (<i>Citrus limon</i>) en cultivos ecológico y convencional.</p> <p><i>M. Aguilar-Hernández, F. Hernández, J. Pastor y P. Legua</i></p>
12:15-12:30 S2-O5	<p>Gestión integrada de mosca blanca (<i>Paraleyrodes minei</i>) y mosca algodonosa (<i>Aleurothrixus floccosus</i>) en naranja Navelina.</p> <p><i>J.S. Andrade-Macas y P.J. Zapata</i></p>
12:30-12:40	Presentación en Póster
S2-P1	<p>Influencia de la compacidad del racimo en uva Monastrell sobre la calidad final del vino.</p> <p><i>S. Soriano-Filiu, J. Medina-Santamarina, J. Piernas-Párraga, M.E. García-Pastor, M.J. Giménez, y P. J. Zapata</i></p>
S2-P2	<p>Ácido oxálico como herramienta precosecha para mejorar la calidad de Uva Monastrell para vinificación.</p> <p><i>J. Piernas, M.E. García-Pastor, J. Medina-Santamarina, S. García,</i></p>

	<i>P.J. Zapata</i>
Sesión 3	Agricultura Sostenible. Cambio Climático y Estreses Ambientales. Moderador: Dra. María Jesús Pascual Villalobos (IMIDA Murcia).
12:45-14:15	Presentaciones Orales
12:45-13:00 S3-O1	Estrategias de reducción de agua de riego en producción de aceite de oliva. <i>J. M. García-Garvía, J. Clemente-Villalba, L. Sánchez-Rodríguez y A. A. Carbonell-Barrachina</i>
13:00-13:15 S3-O2	Cómo entienden los consumidores el concepto de sostenibilidad. <i>P. Sánchez-Bravo, E. Sendra, D. López y Á. A. Carbonell-Barrachina</i>
13:15-13:30 S3-O3	Etnobotánica, contribución al Desarrollo Sostenible de una zona rural. Ejemplo de aplicación en Casasimarro (Cuenca) y pueblos de alrededor. <i>J.V. Mondejar Peñaranda y C. Obón de Castro</i>
13:30-13:45 S3-O4	Resultados preliminares de los efectos del uso de hidromulch en escarola (<i>Cichorium endivia</i>). <i>M. Romero-Muñoz, F.M. del Amor, A. Albacete y J. López-Marín</i>
13:45-14:00 S3-O5	Termotolerancia en el cultivo de la coliflor: influencia de la aplicación exógena de arginina en compuestos fenólicos y las poliaminas. <i>J. Collado-González, M.C. Piñero, G. Otálora, J. López-Marín, J. M. Gambín, M. Marín, J. Sáez-Sironi, F.M. del Amor</i>
14:00-14:15 S3-O6	Respuestas fisiológicas y morfológicas al exceso de boro en la solución nutritiva de diferentes variedades de tomate. <i>S. Simón-Grao, F.J. Alfosea-Simón, L. Larrosa-Gilabert, M. Alfosea-Simón, I. Simon, F. García-Sánchez</i>
14:15-14:30	Presentación en Póster
S3-P1	Propuesta metodológica de análisis del carácter sostenible-resiliente de agrosistemas andinos: caso kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i> L.) en Perú. <i>L. Miranda, I. Marques y J. Huillca-Quispe</i>
S3-P2	Estudio de los impactos ambientales en la zona de influencia del volcán Tungurahua (Ecuador). <i>L. Carrera-Beltrán, V. H. Valverde, I. Gavilanes-Terán, J. Idrovo-Novillo, V. Morales-Cruz, E. Erazo-Macas, C. Paredes y A.A.</i>

	<i>Carbonell-Barrachina</i>
S3-P3	El estrés por alta temperatura modifica el color y la composición mineral de la coliflor (<i>Brassica oleracea</i> L. var. Botrytis) tratada con espermidina. <i>J. Collado-González, M. C. Piñero, G. Otálora, J. López-Marín, R., A. Gálvez, F. M. del Amor.</i>
14:30-16:00	Pausa Comida
Sesión 4	Producción, Bienestar, Genética y Calidad en la Producción Animal. Moderador: Dra. Ana Martí de Olives (Universidad Miguel Hernández).
16:00-16:45	Presentaciones Orales
16:00-16:15 S4-O1	Fenoles totales y capacidad antioxidante de leche de cabra: efecto de la alimentación del ganado con ensilados de brócoli y planta de alcachofa <i>M. Romo, R. Muelas, J.R. Díaz-Sánchez, G. Romero y E. Sendra</i>
16:15-16:30 S4-O2	Uso de subproducto de brócoli y alcachofa ensilados en dietas de caprino lechero: efecto en el suero de quesería. <i>J. Martín Lobo, J.R. Díaz Sánchez, G. Romero, P. Monllor, R. Muelas y E. Sendra</i>
16:30-16:45 S4-O3	Estudio de supervivencia de dos líneas de conejo seleccionadas divergentemente por variabilidad del tamaño de camada al parto. <i>I. Aqea, M.L. García y M.J. Argente</i>
Sesión 5	Instalaciones Industriales y Agrícolas. Moderador: Dr. José Miguel Molina Martínez (Universidad Politécnica de Cartagena).
16:45-17:15	Presentaciones Orales
16:45-17:00 S5-O1	Estudio de variables de influencia en el ensayo de Limitación de Velocidad para Ciclomotor de 2 ruedas (L1/L1e) en condiciones estáticas, de aplicación para Estaciones ITV. <i>M.M. Paricio-Caño y M. Ferrández-Villena</i>
17:00-17:15 S5-O2	<i>Listeria spp.</i> en superficies alimentarias en el ámbito doméstico: presencia y métodos de desinfección. <i>C. Martínez-Giner y E. Sendra</i>
	Presentación en Póster (al final de la sesión 6)
S5-P1	Prototipo de estación meteorológica de bajo coste y mínimo consumo

	<p>con plataforma de gestión de datos en la nube.</p> <p><i>C. Molina-Cabrera, A. Ruiz-Canales, J.M. Molina-Martínez, J.J. Pérez-Solano, J.M. Oates</i></p>
Sesión 6	<p>Gestión del Agua, Nutrición y Energía en Horticultura. Moderador: Dr. José Miguel Molina Martínez (Universidad Politécnica de Cartagena).</p>
17:15-17:45	Presentaciones Orales
17:15-17:30 S6-O1	<p>Caracterización de una cuenca hidrográfica y diseño de las infraestructuras necesarias para aplicar las esorrentías generadas mediante riego subterráneo.</p> <p><i>A. Carrión-Antolí, V. Martínez-Álvarez y J.F. Maestre-Valero</i></p>
17:30-17:45 S6-O2	<p>Plataforma integral para el control de explotaciones agrícolas mediante monitorización de parámetros agronómicos y control de la programación de riego.</p> <p><i>M. Soler-Méndez, L. Ávila-Dávila, D. Parras-Burgos, D. Intrigliolo-Molina y J. M. Molina-Martínez</i></p>
17:45-17:55	Presentación en Póster Sesión 5 y Sesión 6
S6-P1	<p>Estimación de la lluvia efectiva mediante utilización de lisimetría de pesada.</p> <p><i>L. Ávila-Dávila, M. Soler-Méndez, D. Escarabajal-Henarejos y J.M. Molina-Martínez</i></p>
17:55-18:15	Pausa Café
Sesión 7	<p>Usos del Territorio. Valoración de Recursos Agrarios. Desarrollo Rural. Moderador: Dra. María Ángeles Fernández Zamudio (IVIA-Valencia).</p>
18:15-19:30	Presentaciones Orales
18:15-18:30 S7-O1	<p>Estrategias de medios de vida de las explotaciones ganaderas extensivas de las comarcas del Pallars (Cataluña).</p> <p><i>A. Lecegui, A.M. Olaizola, F. López-i-Gelats, B. Vidal y E. Varela</i></p>
18:30-18:45 S7-O2	<p>Caracterización edafológica de los suelos de la Denominación de Origen Protegida Granada Mollar de Elche.</p> <p><i>R. Castejón, E. Martínez-Sabater, M. A. Molina y C. Paredes</i></p>
18:45-19:00 S7-O3	<p>Caracterización de la fibra dietética de frambuesa.</p> <p><i>L. Sánchez-Martínez, V. Núñez-Gómez, N. Baenas, R. González-Barrio, F.J. García-Alonso y M.J. Periago</i></p>
19:00-19:15	Población y valor productivo de la quinoa peruana: relación y

S7-04	perspectivas en el acceso al superalimento. <i>J. Huillca-Quispe, B. Segura y L. Miranda</i>
S7-05 19:15-19:30	<i>Diplotaxis eruroides</i> , como nuevo ingrediente culinario. <i>J. Clemente-Villalba, D. Ariza, J. M. García-Garv, H. Issa-Issa, P. Sánchez-Bravo, L. Lipan, Marina Cano-Lamadrid, Luis Noguera-Artiaga, F. Hernández, . A. Carbonell-Barrachina</i>
Sesión 8	Economía Agraria y gestión de Empresas. Moderador: Dra. María ngeles Fernández Zamudio (IVIA-Valencia).
19:30-20:00	Presentaciones Orales
19:30-19:45 S8-01	El papel de la tecno-educación de las mujeres en la sostenibilidad Agroalimentaria. <i>H. Kerras, J.L. Sanchez Navarro, E.I. López Becerr y M.D. de-Miguel Gómez</i>
19:45-20:00 S8-02	La gestión sostenible de los agroecosistemas: Qu y quiénes? <i>J. A. Zabala</i>
20:00-20:15 S8-03	Evaluación de medidas de seguridad en el suministro de agua de riego. El caso de la comunidad de regantes de Santaella. <i>V. Martínez García</i>
Fecha	25 de septiembre de 2020
Sesión 9	Gestión y Valorización de Residuos Orgánicos en la Agricultura. Moderador: Dra. Aurelia Pérez Espinosa (Universidad Miguel Hernández).
9:00-10:15	Presentaciones Orales
9:00-9:15 S9-01	Valorización del extrusionado de frambuesa residual: Extracción de compuestos de alto valor añadido y digestión anaerobia <i>A. Trujillo-Reyes, C. Paredes y F.G. Feroso</i>
9:15-9:30 S9-02	Situación del sector agrícola y ganadero en pequeñas poblaciones de la provincia de Chimborazo (Ecuador). El caso de la parroquia de San Andrés. <i>V.H. Valverde, I. Gavilanes-Terán, L. Carrera-Beltrán, S. Buri-Tanguila, K. Salazar-García, A.A. Carbonell-Barrachina y C. Paredes.</i>
9:30-9:45 S9-03	Análisis y evaluación actual del abono tipo bocashi como alternativa ecológica ante los agroquímicos. <i>J. Moneva y C. Paredes</i>

9:45-10:00 S9-O4	Elaboración de abono orgánico con residuos domésticos de alimentos separados en sitio y tratados con microorganismos efectivos EM1®. <i>G.I. Díaz Tolentino y M.J. López</i>
10:00-10:15 S9-O5	Elaboración de cerveza artesana de naranja con subproductos de la industria. <i>N. Sirvent-Pérez, M.J. Giménez, P.J. Zapata</i>
Sesión 10	Procesado e Innovación en Productos de Origen Animal. Moderador: Dr. José Ángel Pérez Álvarez (Universidad Miguel Hernández).
10:15-10:30	Presentaciones Orales
10:15-10:30 S10-O1	Métodos experimentales para inactivación de anisakis en subproductos de pescado. <i>C. Rodríguez, L. Noguera-Artiaga y J. M. Valverde</i>
10:30-10:40	Presentación en Póster
S10-P1	Caracterización química y físico-química de aceites extraídos de diferentes insectos comestibles. <i>C.M. Botella-Martínez, J. Fernández-López, J.A. Pérez-Álvarez y M. Viuda-Martos</i>
S10-P2	Incorporación de fracciones ricas en fibra de quínoa a modelos cárnicos. <i>M.T. Valero Asencio, A. Roldán Verdú, C. Navarro-Rodríguez de Vera, J.A. Pérez-Álvarez, E. Sayas-Barberá</i>
10:40-11:15	Pausa Café
Sesión 11	Postcosecha y procesado de productos vegetales. Moderador: Dr. Daniel Valero Garrido (Universidad Miguel Hernández).
11:15-14:15	Presentaciones Orales
11:15-11:30 S11-O1	Ensalada mezclada (canónigos, escarola y radicchio): popularidad entre los consumidores y evolución de su calidad funcional en refrigeradores domésticos. <i>J.M. Lorente, C. Manzanera, J.M. Valverde, M. Serrano y M.T. Pretel.</i>
11:30-11:45 S11-O2	Componentes de calidad sensorial, caracterización físico-química y funcional de la granada Mollar de Elche (<i>Punica granatum</i> L.). <i>A. Dobón Suárez, M. E. García Pastor, A. M. Codes Alcaraz, S. Castillo García</i>

11:45-12:00 S11-03	<p>La aplicación en campo de jasmonato de metilo incrementa la calidad y reduce la pudrición por <i>Botrytis cinerea</i> en uva de mesa durante su almacenamiento postcosecha.</p> <p><u>M.E. García-Pastor</u>, M. Serrano, D. Valero, F. Guillén y P.J. Zapata</p>
12:00-12:15 S11-04	<p>Los tratamientos con salicilatos estimulan la respuesta sistémica inducida en la uva de mesa 'Crimson' y 'Magenta'</p> <p><u>A. Belda</u>, M.E. García-Pastor, D. Valero y M. Serrano</p>
12:15-12:30 S11-05	<p>Efecto de los tratamientos con melatonina durante el desarrollo de la cereza en el árbol sobre su calidad en post-recolección.</p> <p><u>L. Serrano</u>, A. Carrión-Antolí, J.M. Lorente, M. Serrano y D. Valero</p>
12:30-12:45 S11-06	<p>Cambios en los compuestos bioactivos durante la conservación de la granada 'Mollar de Elche' a 10 y 2 °C.</p> <p><u>I. Pagán-Navarro</u>, J.M. Lorente, D. Valero, M. Serrano</p>
12:45-13:00 S11-07	<p>Influencia de las condiciones agronómicas y climáticas sobre la calidad del limón 'Fino' para su conservación postcosecha.</p> <p><u>S. Pardo-Pina</u>, R. Díaz-Puertas, A. Díaz, V. Serna-Escolano y P.J. Zapata</p>
13:00-13:15 S11-08	<p>Estudio de los cambios fisiológicos durante la maduración de las variedades de limón 'Eureka', 'Fino' y 'Verna'.</p> <p><u>R. Díaz-Puertas</u>, S. Pardo-Pina, A. Díaz, V. Serna-Escolano y P.J. Zapata</p>
13:15-13:30 S11-09	<p>Influencia de la variedad y zona geográfica del cultivo en la calidad del limón para su comercialización.</p> <p><u>A. Díaz</u>, R. Díaz-Puertas, S. Pardo-Pina, V. Serna-Escolano y P.J. Zapata</p>
13:30-13:45 S11-010	<p>Tratamientos pre-cosecha con elicitores para mejorar la producción y la calidad post-cosecha de cereza (<i>Prunus avium</i> L.)</p> <p><u>C. Ruiz-Aracil</u>, J.M. Lorente-Mento, L. Raducán y F. Guillén</p>
13:45-14:00 S11-011	<p>Aplicación de tratamientos post-cosecha para incrementar la calidad y reducir los daños por frío en calabacín (<i>Cucurbita pepo</i> L.).</p> <p><u>J. Medina-Santamarina</u>, M. Serrano, S. Castillo, D. Martínez-Romero y F. Guillén</p>
14:00-14:15 S11-012	<p>Aplicación en precosecha de ácido oxálico para mejorar la calidad de uva durante su almacenamiento en frío.</p> <p><u>E. Contreras-García</u>, M.E. García-Pastor y P.J. Zapata</p>

14:15-14:35	Presentación en Póster
S11-P1	<p>Evolución de la calidad microbiológica y organoléptica de la ensalada de iv gama “gourmet” (canónigos, escarola y Radicchio) en los refrigeradores domésticos.</p> <p><i>C. Manzanera, J.M. Lorente, J.M. Valverde, M. Serrano y M.T. Pretel.</i></p>
S11-P2	<p>Obtención de gajos de cítricos ecológicos mediante pelado enzimático. Una alternativa sostenible para el consumo de conveniencia.</p> <p><i>M.T. Pretel, J.P. López, M.C. Martínez y M. Serrano</i></p>
S11-P3	<p>Incremento de la vida útil en almacenamiento refrigerado de limón ‘Fino’ por la aplicación precosecha de ácido oxálico.</p> <p><i>V. Serna-Escolano, D. Martínez-Romero, J.M. Valverde, M. Serrano y P.J. Zapata</i></p>
S11-P4	<p>Efecto de diferentes tratamientos de pasteurización sobre la calidad de gajos de clementina ecológica en V gama.</p> <p><i>J.P. López, M.C. Martínez, M. Serrano y M.T. Pretel</i></p>
14:35-16:00	Pausa Comida
Sesión 12	Alimentación Funcional, Calidad Sensorial y Salud. Moderador: Dra. Cristina García Viguera (CEBAS-CSIC, Murcia).
16:00-18:15	Presentaciones Orales
16:00-16:15 S12-O1	<p>Importancia del concepto hidroSOstenible en almendras tostadas en consumidores de diferentes regiones geográficas.</p> <p><i>C. Teruel Andreu, L. Lipan y Á.A. Carbonell-Barrachina</i></p>
16:15-16:30 S12-O2	<p>Desarrollo de un Check-List como herramienta para verificar el autocontrol del sistema de inocuidad en una empresa de distribución alimentaria.</p> <p><i>M.A. Pastor, P. Corraliza y J.M. Valverde</i></p>
16:30-16:45 S12-O3	<p>Desarrollo e implantación de un plan de acción frente al COVID-19 en los supermercados de la empresa Musgrave España SA.</p> <p><i>A. Gelardo, P. Corraliza, L. Noguera-Artiaga y J.M. Valverde</i></p>
16:45-17:00 S12-O4	<p>Aprovechamiento de desechos generados en la industria de la aceituna rellena para la elaboración de nuevos productos alimenticios.</p> <p><i>I. Pagán-Turpin, M.E. Garcia-Pastor, M.J. Giménez y P. J. Zapata</i></p>
17:00-17:15 S12-O5	<p>Modelos de digestión <i>in vitro</i> y su aplicación para evaluar alimentos funcionales: espaguetis enriquecidos con harina de</p>

	caqui. <i>R. Lucas-González, J.A. Pérez-Álvarez, M. Viuda-Martos y J. Fernández-López</i>
17:15-17:45	Pausa Café
17:45-18:00 S12-O6	Efecto del riego deficitario controlado sobre el perfil de compuestos bioactivos de aguacate. <i>M. Rabasco, L. Lipan, A. Nems, H. Issa-Issa, V. H. Durán-Zuazo, I.F. García-Tejero, A. Carbonell-Barrachina</i>
18:00-18:15 S12-O7	Formación de catabolitos colónicos a partir de frambuesa y sus fracciones de fibra dietética. <i>V. Núñez-Gómez, R. González-Barrio, P. Campos-Cava, N. Baenas, L. Sánchez-Martínez, F.J. García-Alonso, M.J. Periago</i>
18:15-18:30	Presentación en Póster
S12-P1	Influencia del tiempo de fermentación y digestión gastrointestinal in vitro en la viabilidad de <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Bifidobacterium longum</i> en bebidas de quinoa roja. <i>D. Cerdá-Bernad, E. Valero-Cases, M.J. Frutos</i>
S12-P2	Propiedades antioxidantes, caracterización química y perfil de ácidos grasos de dos cultivares de <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill. En condiciones homogéneas de cultivo. <i>L. Andreu-Coll, A.A. Carbonell-Barrachina, E. Sendra, D. López-Lluch, A. Amoros, M. S. Almansa, F. Hernández y P. Legua</i>
S12-P3	Crisis sanitarias/alimentarias: efectos en la industria agroalimentaria y cambios de legislación. <i>L. Morero-Sarrión, A. Roldán Verdú, E. Sayas-Barberá, C. Navarro-Rodríguez de Vera</i>
18:30-19:00	Ceremonia de Clausura

Estudio de los cambios fisiológicos durante la maduración de las variedades de limón ‘Eureka’, ‘Fino’ y ‘Verna’

R. Díaz-Puertas¹, A. Díaz-Núñez¹, S. Pardo-Pina¹, V. Serna-Escolano¹, P.J. Zapata¹

¹Dept. Tecnología Agroalimentaria. EPSO, Universidad Miguel Hernández. Ctra. Beniel km. 3.2, 03312, Orihuela, Alicante. E-mail: rocio.diaz01@umh.es

Resumen

El estudio en campo del limón (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) hasta su recolección nos permite obtener información de momentos clave durante su desarrollo, pudiendo clasificar el cultivo según sus necesidades, optimizando el uso de insumos y mejorando la calidad de la fruta recolectada, como el consumidor reclama. En este trabajo se ha llevado a cabo el seguimiento de los procesos de maduración y desarrollo del limón. Para ello, se seleccionaron tres variedades de una misma finca según el momento de su recolección: ‘Fino’ y ‘Eureka’ sobre patrón *Citrus macrophylla* y ‘Verna’ sobre patrón *Citrus aurantium*, teniendo una cosecha temprana, intermedia y tardía, respectivamente. El tamaño, peso y color de los frutos aumentaron durante todo el muestreo hasta la recolección siguiendo un proceso normal de desarrollo, observándose, evidentemente, un incremento más lento en la variedad ‘Verna’. La firmeza disminuyó con el tiempo en todas las variedades salvo en la ‘Verna’, la cual experimentó un incremento inicial coincidiendo con las etapas tempranas del desarrollo del fruto, seguido de una bajada progresiva hasta su recolección, como el resto de las variedades. Los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT) mostraron una tendencia decreciente en todas las variedades durante su desarrollo, salvo en la variedad ‘Verna’. Tanto el contenido en fenoles totales (CFT) como la actividad antioxidante total (AAT) fueron disminuyendo conforme avanzaba el desarrollo del fruto, sin embargo, el contenido en fenoles totales del zumo en la variedad ‘Verna’ fue mayor que en ‘Fino’ y ‘Eureka’. Además, la AAT de ‘Verna’ y ‘Eureka’ fue mayor que la de ‘Fino’ durante todo el muestreo. Este estudio muestra cómo los parámetros de calidad varían en las diferentes etapas de crecimiento del fruto en el árbol y entre variedades, lo que podría servir para la aplicación de tratamientos en momentos clave del desarrollo y establecer el momento justo para la recolección.

Palabras clave: color, actividad antioxidante total, fenoles totales, firmeza, acidez.

Study of the physiological changes during the ripening of the lemon varieties ‘Eureka’, ‘Fino’ and ‘Verna’

Abstract

The field study of the lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) until its harvest allows us to obtain information on key moments during its development, thus being able to classify the crop according to its needs, optimizing the use of inputs and improving the quality of the harvested fruit, as the consumer claims. In this work, the monitoring of the ripening and development processes of the lemon has been carried out. For this purpose, three varieties were selected from the same farm according to the moment of harvesting: ‘Fino’ and ‘Eureka’ on the *Citrus macrophylla* rootstock and ‘Verna’ on the *Citrus aurantium* rootstock, having an early, intermediate and late harvest, respectively. The size, weight and color of the fruits increased throughout the sampling until harvest, following a normal development process, evidently observing a slower increase in ‘Verna’. Firmness decreased over time in all varieties except the ‘Verna’ one, which experienced an initial increase coinciding with the early stages of fruit development, followed by a gradual decline until harvest, like the rest of the varieties. Total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) showed a decreasing trend in all varieties during their development, except for the ‘Verna’ variety. Both the total phenolic content (TPC) and the total antioxidant activity (TAA) decreased as the development of the fruit progressed, however, the TPC of the juice in ‘Verna’ was higher than in ‘Fino’ and ‘Eureka’. Furthermore, the TAA of ‘Verna’ and ‘Eureka’ was higher than that of ‘Fino’ throughout the sampling. This study shows how the quality parameters vary in the different stages of fruit growth on the tree and between varieties, which could be used for treatment applications at key moments of development and establish the right moment for harvesting.

Palabras clave: color, total antioxidant activity, total phenols, firmness, acidity.

Introducción

El limón (*Citrus limon* (L.) Burm. f) es el tercer cítrico más importante del mundo, después de la naranja y la mandarina. En 2018 se produjeron más de 19 millones de toneladas de limón en todo el mundo y España fue el séptimo país productor más importante, con más de un millón de toneladas (FAOSTAT, 2018). Murcia es la comunidad autónoma española que más limones obtiene al año, siendo la producción de 652 miles de toneladas en 2018, es decir, alrededor del 60 % de la producción española. Las variedades autóctonas ‘Fino’ y ‘Verna’ representan más del 95 % de la producción de limón en Murcia y se cosechan en otoño-invierno y en primavera-verano, respectivamente. Otras variedades como ‘Eureka’ son de gran importancia a nivel mundial (García-Lidón et al., 2003) aunque son minoritarias en España, por lo que pueden agruparse con ‘Fino’ debido a su similitud productiva y de temporada de cosecha ya que, aunque también es de recolección temprana, es posterior a la variedad ‘Fino’. Los árboles de cítricos se obtienen normalmente mediante sistemas de propagación de portainjertos, técnica agronómica utilizada para mejorar la producción y/o calidad del fruto (Gil-Izquierdo et al., 2004). Actualmente, los patrones mayoritarios para limonero son el naranjo amargo (*Citrus aurantium* L.) y *Citrus macrophylla* (García-García, 2014).

El desarrollo y la maduración del fruto en el árbol implica una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y sensoriales que conducen a la formación de una fruta madura comestible con parámetros de calidad deseables (Toivonen, 2007). Generalmente, estos cambios incluyen aumentos en el tamaño de los frutos, alteraciones en el color, en las tasas de respiración y en la producción de etileno, ablandamiento o alteraciones en el metabolismo de los azúcares, entre muchos otros. En cítricos, los parámetros internos de calidad como la acidez o los sólidos solubles son utilizados para conocer el índice de madurez de forma precisa. El limón es un fruto especialmente atractivo por las propiedades antioxidantes de sus componentes, como la vitamina C y los flavonoides (Del Río et al., 2004). Estas propiedades se han relacionado no solo con la prevención de enfermedades (Lin et al., 2007), sino con una mayor vida útil de almacenamiento (Serna-Escolano et al., 2019). No obstante, estos compuestos bioactivos pueden verse afectados cuantitativa y cualitativamente por numerosos factores, como las prácticas de cultivo, el ambiente de crecimiento, el genotipo y el grado de maduración del fruto (Mcharek y Hanchi, 2017). En consecuencia, es importante estudiar los cambios producidos durante las etapas de maduración, ya que pueden afectar a la actividad biológica y a la aptitud para la conservación que posee el limón. De este modo, se podría determinar el momento clave para la recolección, en el que cada variedad posee propiedades funcionales óptimas.

El objetivo del presente trabajo es el seguimiento de los procesos de maduración y desarrollo de las variedades de limón ‘Fino’, ‘Eureka’ y ‘Verna’ con el fin de describir los cambios producidos en los parámetros de calidad y compuestos bioactivos más relevantes, permitiendo clasificar los cultivos según sus necesidades, optimizar el uso de insumos y mejorar la calidad de la fruta recolectada.

Materiales y métodos

Los limones (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) se recolectaron semanalmente de limoneros localizados en un campo comercial (37° 5' 47" N, 1° 2'57" O) situado en Librilla (Murcia, España), con suelo de tipo fluvisol éutrico. Se utilizaron tres variedades de limón: ‘Fino’ y ‘Eureka’ sobre patrón *Citrus macrophylla* y ‘Verna’ sobre patrón *Citrus aurantium*. Los limoneros tenían entre 8 y 12 años. Las variedades se encontraban en diferentes parcelas de la misma finca, plantadas en un marco de 4 x 5 m, situadas un terreno con condiciones similares. Semanalmente se recogieron 60 limones de cada variedad de árboles al azar, evitando siempre el efecto borde. Para ello se establecieron 4 bloques al azar distribuidos a lo largo de la parcela.

El experimento se llevó a cabo desde el 29 de julio de 2019 (día 0 de muestreo) hasta la recolección siguiendo los criterios comerciales de las diferentes variedades, lo que se puede observar en la Tabla 1. En el caso de ‘Fino’ se realizó una primera recolección el 2 de octubre de 2019 y, posteriormente, una segunda recolección el 7 de diciembre de 2019, momento en el que finalizó su muestreo. En las

variedades ‘Eureka’ (4 de noviembre de 2019) y ‘Verna’ (1 de junio de 2020) se realizó una sola recolección.

Tabla 1. Cronograma de recolección y días de muestreo de las variedades ‘Fino’, ‘Eureka’ y ‘Verna’.

	Jul-19	Ago-19	Sep-19	Oct-19	Nov-19	Dic-19	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20
Fino	1 ^{er} corte			2 ^o corte							
Eureka	Única recolección										
Verna	Única recolección										
Días de muestreo	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	280

Determinación de peso y volumen

El peso (g) y el volumen (mm³) se determinaron en la fruta recién recolectada empleando una báscula y un pie de rey. El volumen de los limones se calculó por aproximación al volumen de un elipsoide según la Ecuación (1).

$$V (mm^3) = \frac{4}{3} \pi \cdot a \cdot b \cdot c \quad (1)$$

Determinación de color

La caracterización colorimétrica se realizó en tres puntos del perímetro ecuatorial de la fruta recién recolectada. Los parámetros de color (L*, a*, b*, C*, H*) se determinaron con un colorímetro Minolta (CRC200; Minolta, Osaka, Japan). Para este trabajo solo se analizó el parámetro a* del color.

Determinación de la firmeza

La firmeza se determinó en los frutos recién recolectados mediante un Analizador de Textura TX-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, UK) acoplado a una placa de acero plana, que aplica una fuerza que causa una deformación del 5 % del diámetro de la fruta, expresada como N mm⁻¹.

Determinación de sólidos solubles totales y acidez titulable

Los sólidos solubles totales se determinaron en los frutos frescos utilizando un refractómetro digital Atago PR-101 (Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan) y se expresaron en porcentaje.

La acidez titulable se determinó en cada muestra por titulación de 0,5 ml de zumo diluido en 5 ml de agua destilada con NaOH 0,1 mol L⁻¹ hasta pH 8,1 usando un titulador automático (785 DMP Titrimo; Metrohm, Herisau, Suiza) y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.

Caracterización de gases

La producción de etileno y la tasa de respiración se determinaron usando un sistema estático, colocando cada fruta en un frasco de vidrio de 0,5 L herméticamente sellado durante 1 h. La producción de etileno se cuantificó usando un cromatógrafo de gases ShimadzuTM GC-2010 (Kyoto, Japón) siguiendo el protocolo descrito por Guillén et al. (2013) y se expresó como nmol kg⁻¹ h⁻¹. La tasa de respiración se cuantificó mediante un cromatógrafo de gases ShimadzuTM 14A (Kyoto, Japón) con un detector de conductividad térmica (Guillén et al., 2013) y se expresó como mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Determinación de fenoles totales y actividad antioxidante total

La extracción fenólica en flavedo se llevó a cabo homogeneizando 2 g de las muestras con 5 ml de tampón fosfato 50 mM y 3 ml de acetato de etilo. El homogeneizado se centrifugó a 10.000 rpm a 4 °C durante 20 minutos y el contenido en fenoles totales (CFT) se cuantificó usando el reactivo Folin-Ciocalteu y midiendo absorbancia a 760 nm, siguiendo el protocolo descrito por Sayyari et al. (2011). El CFT en zumo se cuantificó del mismo modo utilizando 25 µl de zumo. Los resultados se expresaron como mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de peso fresco. La actividad antioxidante total (AAT) se cuantificó de acuerdo al protocolo descrito por Sayyari et al. (2011). Se homogeneizaron 2

g de las muestras con 5 ml de tampón fosfato 50 mM y 3 ml de acetato de etilo y se la mezcla se centrifugó a 10.000 rpm a 4 °C durante 20 minutos. Las fracciones superior e inferior se emplearon para cuantificar la AAT en la fase lipofílica e hidrofílica, respectivamente. En ambos casos, la AAT se determinó utilizando el sistema enzimático consistente en el cromóforo compuesto por la sal de diamonio 2,2'-azino-bis-(ácido 3-etilbenzotiazolona6-sulfónico) (ABTS), la enzima peroxidasa de rábano picante (HRP) y su sustrato oxidante (peróxido de hidrógeno), en el que se generan radicales $ABTS^{\cdot+}$, y controlando la reacción a 730 nm. La disminución de la absorbancia después de añadir el extracto fue proporcional a la AAT de la muestra. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de Trolox por 100 g de peso fresco. La actividad antioxidante total se corresponde con la suma de las actividades antioxidantes de la fase lipofílica e hidrofílica.

Procesado de datos y análisis estadístico

Se utilizó el software SPSS Statics v27 para analizar los datos experimentales de cada parámetro mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos variables (días de muestreo y variedad) y la interacción de las mismas. En la Tabla 2 se muestran los resultados del valor F y del nivel de significancia obtenidos mediante esta prueba. Se realizó un test de Tukey para las comparaciones por pares (datos no presentados).

Resultados y discusión

Análisis estadístico

En la Tabla 2 se muestra el valor F y el nivel de significancia del ANOVA realizado para cada parámetro estudiado con las variables “variedad”, “día” y con la interacción de estas dos variables.

Tabla 2. Valor F y significancia de las variables “variedad”, “día” y la interacción de “variedad” y “día” para cada uno de los parámetros estudiados. NS: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

	Variedad	Día	Variedad x Día
Peso	900,93 ***	218,50 ***	6,30 ***
Volumen	957,94 ***	251,36 ***	14,07 ***
Color	62,08 ***	405,79 ***	40,51 ***
CO₂	223,37 ***	114,25 ***	15,09 ***
Etileno	49,24 ***	8,06 ***	6,25 ***
Firmeza	267,90 ***	26,32 ***	12,21 ***
SST	1160,43 ***	367,08 ***	50,86 ***
AT	29,97 ***	20,52 ***	4,22 ***
AAT	45,39 ***	64,54 ***	4,78 ***
CFT Flavedo	140,53 ***	68,63 ***	6,94 ***
CFT Zumo	1585,35 ***	281,22 ***	21,43 ***

Como se puede observar en la Tabla 2, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,001$, ***) en todos los parámetros entre las variedades y el día de muestreo, así como para la interacción de variedad y día, lo que nos mostró la importancia de los cambios producidos en las tres variedades en los diferentes momentos del desarrollo y maduración del fruto.

Peso y volumen

En la Figura 1 puede observarse un aumento tanto del peso como del volumen de las muestras con el tiempo en todas las variedades estudiadas. Todas las variedades mostraron diferencias significativas entre ellas y entre días de muestreo, así como entre la interacción de estas variables (Tabla 2).

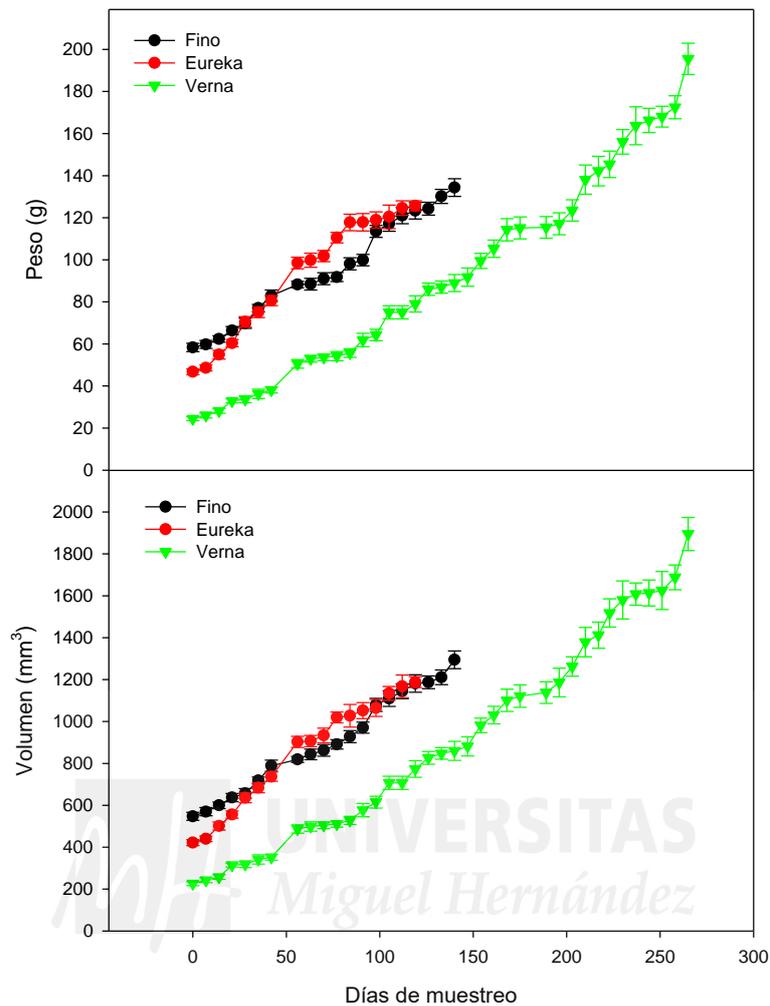


Figura 1. Evolución del peso (arriba) y volumen (abajo) de las variedades ‘Fino’ (●), ‘Eureka’ (●) y ‘Verna’ (▼) durante el periodo de muestreo.

Las diferentes variedades mostraron un incremento de su tamaño y volumen desde los primeros ensayos hasta el momento de la recolección siguiendo un proceso normal de desarrollo, observándose, además, una estrecha relación entre ambos parámetros. La curva de crecimiento de frutos con abundantes semillas como el limón está representada por una curva sigmoideal (Valero y Serrano, 2013). Este comportamiento puede observarse en el desarrollo de la variedad ‘Eureka’ en la Figura 1. Sin embargo, el crecimiento de la variedad ‘Fino’ está representado por una curva similar a una doble sigmoide, ya que se puede apreciar un subsecuente crecimiento pronunciado alrededor del día 90 de muestreo (Guardiola y Garcia-Luis, 2000). En muchos cítricos se ha observado una relación inversa entre el número de frutos en el árbol y su tamaño, lo que podría deberse a la disponibilidad de carbohidratos. Esto podría explicar el crecimiento de la variedad ‘Fino’, ya que se llevaron a cabo dos recolecciones, produciéndose la primera de ellas alrededor del día 70 de muestreo. La variedad ‘Verna’, por otro lado, es una variedad tardía, por lo que su crecimiento se vio retrasado en comparación con las otras variedades y, además, su ciclo de desarrollo fue más largo y permitió observar diferentes fases de crecimiento. Los cítricos son sensibles a los cambios ambientales a lo largo de todo el año (Alae-Carew et al., 2020) y esto podría explicar las diferentes fases de crecimiento acentuado (por ejemplo, en los días 50, 200 y 250 de muestreo) en la variedad ‘Verna’.

Color

La coordenada de color analizada en el presente estudio fue a^* ($+$ = rojo; $-$ = verde), ya que diversos estudios demuestran que es la coordenada colorimétrica que más se correlaciona con el cambio de color producido durante la maduración del limón (Conesa et al., 2015). La Figura 2 muestra un aumento pronunciado en las tres variedades estudiadas durante el muestreo, aunque la variedad ‘Verna’ muestra este crecimiento posterior a las otras dos variedades. Se encontraron diferencias significativas en el desarrollo del color entre variedades, entre días y entre variedades y días (Tabla 2).

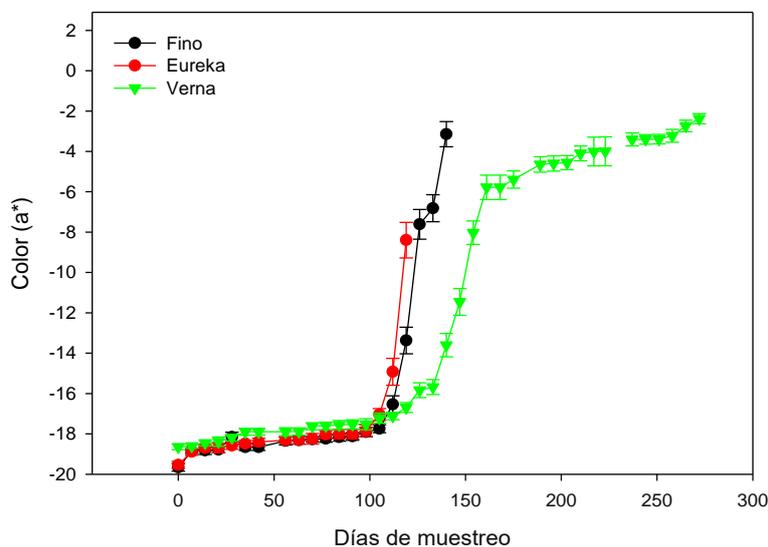


Figura 2. Evolución de la coordenada a^* del color de las variedades ‘Fino’ (●), ‘Eureka’ (●) y ‘Verna’ (▼) durante el periodo de muestreo.

Los cambios de color en el limón se asocian a la degradación de pigmentos clorofílicos en el proceso de maduración y a la acumulación de carotenoides en el flavedo. Los carotenoides coexisten con las clorofilas en las etapas tempranas del desarrollo, por lo que quedan enmascarados por estas últimas. La maduración conlleva la degradación de clorofilas y, por tanto, la expresión de carotenoides, que proporcionan un color amarillo característico al limón (Sun et al., 2019). Este hecho puede observarse en la Figura 2 entre los días 100 y 150 de muestreo, donde la coordenada a^* del color crece drásticamente, manifestando el cambio de color de verde a amarillo característico del limón. La degradación de clorofilas se produce normalmente cuando la temperatura atmosférica cae por debajo de 13 °C (Manera et al., 2012). Sin embargo, se han encontrado diferencias entre distintas variedades de limón, ya que ‘Verna’ necesita temperaturas más bajas para el viraje del color que ‘Fino’ o ‘Eureka’. Este hecho es consistente con los resultados obtenidos, ya que en la Figura 2 puede apreciarse que el cambio repentino de color en las variedades ‘Fino’ y ‘Eureka’ se produce entorno al día 100 de muestreo, alrededor de 40 días antes que en la variedad ‘Verna’. El aumento drástico de la coordenada a^* del color en las variedades ‘Fino’ y ‘Eureka’ se produjo cuando la temperatura media fue de 13,0 °C y el de la variedad ‘Verna’ a finales de diciembre, cuando la temperatura media fue de 11,6 °C (AEMET, 2019). La bibliografía apunta a que la temperatura no afecta al color hasta que no cae por debajo de los 13 °C (Brotons et al., 2013). Este hecho es consistente con los resultados obtenidos, ya que en la Figura 2 puede observarse una fase de meseta desde el día 0 hasta el día 100 de muestreo, donde la coordenada a^* del color no experimentó un crecimiento notable. El cambio de color que se produjo a partir del día 100 de muestreo (principios de noviembre) coincidió con una temperatura media mensual de 13 °C. Además de la temperatura y la variedad, el cambio de color en el limón puede verse afectado por otros parámetros como la humedad, la luz, el tipo de suelo, la fertilización, o el portainjerto, entre otros (García-Lidón et al., 2003).

Como puede observarse en la Figura 2, los limones de las variedades ‘Eureka’ y ‘Fino’ no se recolectaron completamente amarillos, aunque el cambio de color en el fruto ya había comenzado, por lo que para su comercialización es necesario llevar a cabo el desverdizado.

Tasa de respiración y producción de etileno

La Figura 3 muestra la evolución de las tasas de respiración y producción de etileno de las variedades estudiadas. Pudo observarse una tendencia decreciente en la tasa de respiración en todas las variedades durante el periodo estudiado. No obstante, se observaron picos donde la tasa de respiración se vio incrementada en la variedad 'Verna'. Por otro lado, la producción de etileno, en general, fue basal en todas las variedades, con valores inferiores a $1 \text{ nmol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. En este caso también pueden apreciarse picos donde la producción de etileno se ve incrementada en las tres variedades. Las tres variedades mostraron diferencias significativas en estos dos parámetros entre ellas, entre días de muestreo y en la interacción "variedad" y "día" (Tabla 2).

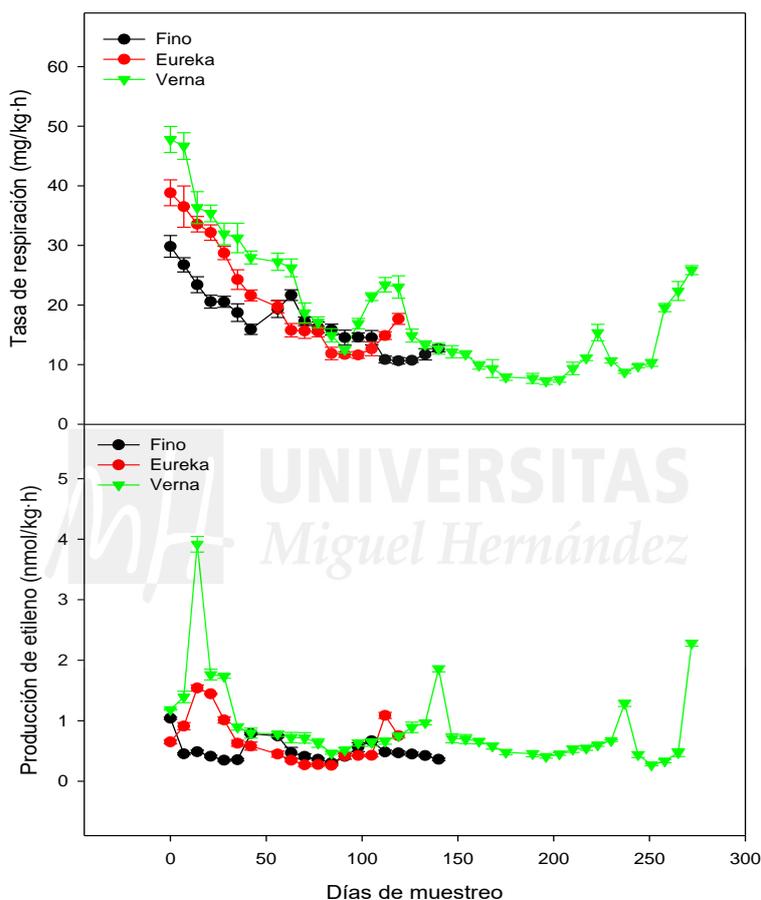


Figura 3. Evolución de la tasa de respiración (arriba) y producción de etileno (abajo) de las variedades 'Fino' (●), 'Eureka' (●) y 'Verna' (▼) durante el periodo de muestreo.

El limón es clasificado como un fruto no climatérico, lo que supone que no se producen aumentos en la respiración ni en la producción de etileno durante la maduración, sino que experimentan una disminución gradual (Azzolini et al., 2005). Además, la tasa de respiración es mayor en los limones verdes y disminuye progresivamente conforme aumenta el tamaño del limón durante el desarrollo (Iglesias et al., 2007). Los resultados obtenidos en este estudio fueron, por tanto, coherentes con la bibliografía, ya que en todas las variedades se observó este descenso en las tasas de respiración hasta el día 80 de muestreo aproximadamente, cuando se alcanzaron niveles de CO_2 muy bajos (alrededor de $10 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Por otra parte, en la Figura 3 pudieron observarse picos donde la tasa de respiración aumentó en la variedad 'Verna'. Algunos estudios han mostrado que las tasas en la respiración pueden verse ligeramente aumentadas durante la maduración debido a los cambios producidos en el fruto, como el cambio de color (Eaks, 1970), este mismo efecto podría relacionarse con el pico obtenido alrededor del día 120 de muestreo en nuestro experimento.

En frutos no climatéricos la producción de etileno se mantiene muy baja durante la maduración (Katz et al., 2004), aunque algunos estudios han indicado que el etileno también puede estar involucrado en la maduración de la fruta no climatérica (Gao et al., 2020). Esto puede apreciarse en la Figura 3, ya que, durante todo el experimento, la producción de etileno no aumentó por encima de $4 \text{ nmol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en ninguna variedad. No obstante, se observaron picos de producción de etileno, que coincidieron o se produjeron posteriormente a la aparición de los picos en las tasas de respiración. La producción de etileno puede verse aumentada durante la formación de semillas (Matilla, 2000), lo que podría explicar el pico que se obtuvo alrededor del día 20 de muestreo en las variedades ‘Eureka’ y ‘Verna’. Además, los picos obtenidos alrededor del día 110 en la variedad ‘Eureka’ y del día 140 en la variedad ‘Verna’ podrían deberse al cambio de color del fruto, hecho que se correlaciona con lo observado en la Figura 2. Por otro lado, el etileno es también una hormona reguladora de la respuesta a estrés biótico y abiótico, como la sequía, inundaciones, heridas, enfriamiento, infección por patógenos e inductores químicos (Khan et al., 2017). Por tanto, los picos de producción de etileno obtenidos a lo largo del muestreo podrían haberse producido bien por algún proceso relacionado con el desarrollo del fruto o por algún tipo de estrés como los citados anteriormente.

Firmeza

En la Figura 4 se puede observar el descenso en la firmeza producido en las variedades ‘Fino’ y ‘Eureka’. Por el contrario, en la variedad ‘Verna’ se apreció un incremento inicial, seguido de una bajada progresiva hasta el momento de su recolección. En la Tabla 2 se contemplan diferencias significativas en la firmeza entre las diferentes variedades, entre días de muestreo y entre la interacción “variedad” y “día”.

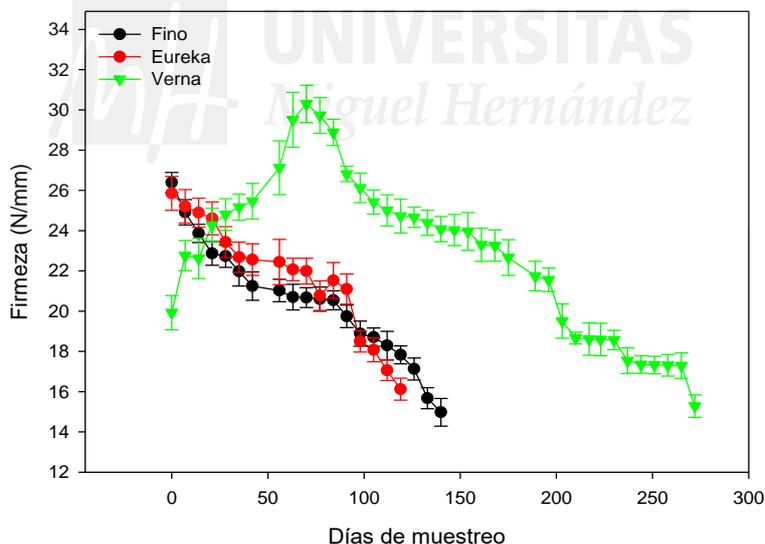


Figura 4. Evolución de la firmeza de las variedades ‘Fino’ (●), ‘Eureka’ (●) y ‘Verna’ (▼) durante el periodo de muestreo.

El primer periodo del desarrollo de los cítricos se caracteriza por poseer unas tasas de crecimiento lentas pero una alta división celular (Tadeo et al., 2008), lo que puede explicar el incremento inicial en la firmeza de la variedad ‘Verna’. Es probable que las variedades ‘Fino’ y ‘Eureka’ sufrieran un aumento de la firmeza similar durante las primeras etapas del desarrollo, pero no pudo observarse este fenómeno ya que su ciclo de desarrollo se encontraba más avanzado que el de la variedad ‘Verna’ en el comienzo del muestreo. Por otro lado, uno de los cambios más comunes durante la maduración final del limón antes de la recolección es el ablandamiento del fruto, que implica numerosos procesos metabólicos como la acumulación de solutos osmóticos en el apoplasto, cambios fisiológicos en la composición de la membrana, modificaciones en las relaciones entre el simplasto/apoplasto, la

degradación del almidón y cambios en la estructura de la pared celular (Valero y Serrano, 2010). Este ablandamiento pudo apreciarse en las variedades ‘Fino’ y ‘Eureka’ desde el comienzo del muestreo y en la variedad ‘Verna’ a partir del día 80 de muestreo.

Sólidos solubles totales y acidez titulable

La Figura 5 muestra la evolución decreciente para todas las variedades de los sólidos solubles totales (SST) y de la acidez titulable (AT). El contenido en SST presentó un decrecimiento paulatino en las variedades ‘Fino’ y ‘Eureka’ durante el periodo de muestreo. Sin embargo, en la variedad ‘Verna’ se apreció una primera etapa de descenso gradual seguida de una bajada abrupta en el contenido de SST. Tanto la AT como los SST mostraron diferencias significativas entre variedades, entre días de muestreo y en la interacción “variedad” y “día” (Tabla 2).

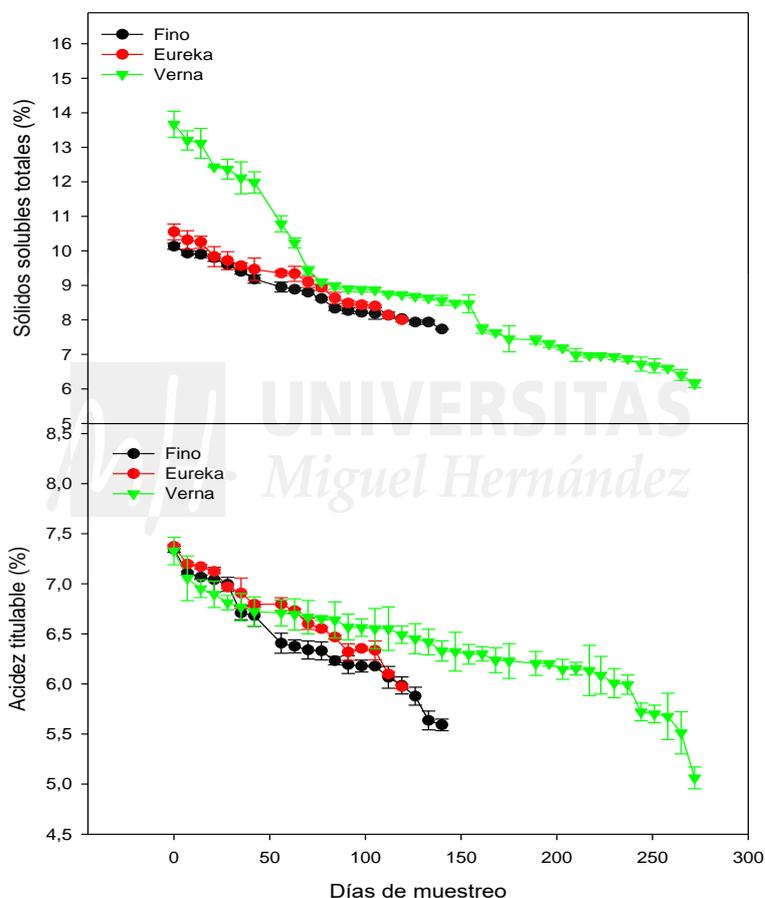


Figura 5. Evolución de los sólidos solubles totales (arriba) y la acidez titulable (abajo) de las variedades ‘Fino’ (●), ‘Eureka’ (●) y ‘Verna’ (▼) durante el periodo de muestreo.

El contenido en SST se asocia con la calidad de consumo de la fruta madura, ya que afecta al sabor y a la palatabilidad, y se utiliza como índice de madurez en las mediciones de calidad (González-Molina et al., 2008). Durante todo el muestreo el contenido en SST descendió en todas las variedades estudiadas. Estudios muestran que durante el desarrollo de las variedades ácidas del limón se produce un aumento de los azúcares (principalmente fructosa, glucosa y sacarosa) en las etapas iniciales, seguido de un descenso durante el desarrollo (Albertini et al., 2006), lo que se correlaciona con los resultados obtenidos. El contenido en SST en los frutos está influenciado por muchos factores, entre ellos factores ambientales como la irrigación (Barry y Castle, 2004) o factores genéticos (Perez-Perez et al., 2005), los cuales pudieron impactar en el contenido en SST de las variedades estudiadas.

La AT es un factor importante que se refleja en las características de almacenamiento y calidad de la fruta. Una reducción pronunciada de AT induce una senescencia más rápida en la fruta (Shiri et al., 2016), por lo que conocer el comportamiento de este parámetro es fundamental para garantizar una vida útil óptima. Durante la maduración de los cítricos se produce un descenso de la AT debido a la utilización de ácidos orgánicos individuales en la respiración (Multari et al., 2020). Otros autores relacionan este descenso en la acidez titulable con los niveles decrecientes de ácido cítrico, ácido málico y ácido fumárico durante la maduración (Sun et al., 2019). Este hecho puede observarse en la Figura 5, donde se observa un descenso en la AT en todas las variedades, siendo más pronunciado cerca del momento de la recolección. En la variedad ‘Fino’ puede observarse una gran diferencia en la AT de los frutos de la primera recolección (alrededor del día 90 de muestreo) y de la segunda recolección (alrededor del día 140 de muestreo). Además, en la variedad ‘Verna’ se observó un brusco descenso cerca del momento de la recolección, lo que podría ser importante para determinar la vida útil postcosecha del fruto.

Contenido en fenoles totales

La Figura 6 muestra la disminución del contenido en fenoles totales (CFT) conforme avanza el desarrollo del fruto. Puede observarse que el CFT del zumo en la variedad ‘Verna’ fue mayor que en ‘Fino’ y ‘Eureka’ durante el periodo de muestreo. También puede apreciarse que el CFT es superior en flavedo que en zumo en todas las variedades estudiadas. Se encontraron diferencias significativas en el CFT entre las variedades, entre días de muestreo y entre la interacción de “variedad” y “día” (Tabla 2).

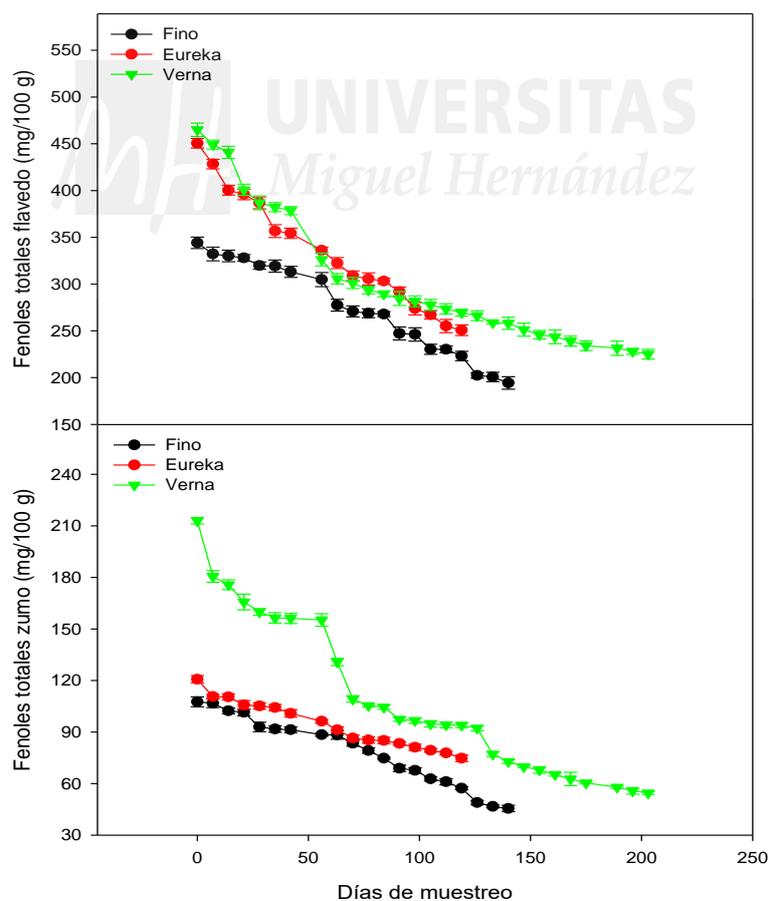


Figura 6. Evolución del contenido en fenoles totales (CFT) en flavedo (arriba) y zumo (abajo) de las variedades ‘Fino’ (●), ‘Eureka’ (●) y ‘Verna’ (▼) durante el periodo de muestreo.

El CFT en cítricos ha sido estudiado por otros autores (Mcharek y Hanchi, 2017; Multari et al., 2020), donde se ha observado una tendencia decreciente similar a la de este estudio. El CFT máximo fue obtenido al comienzo del muestreo, cuando los frutos se encontraban en un estadio más inmaduro y fue disminuyendo con la maduración. Algunos estudios sugieren que la oxidación de los polifenoles por parte de la polifenoloxidasas durante la maduración es la causante de este descenso en el CFT (Del Río et al., 2004). Por otro lado, algunos autores también han observado un CFT mayor en flavedo que en zumo (Nawaz et al., 2019). Este hecho ha sido atribuido al papel protector que poseen los compuestos fenólicos ante el estrés biótico y abiótico (Bhattacharya et al., 2010), como radiaciones UV, patógenos y predadores (Ignat et al., 2011). Por tanto, es posible que el flavedo, que está más expuesto a estos daños, acumule compuestos fenólicos como mecanismo de defensa (Multari et al., 2020). Es importante recalcar que la acumulación de fitoquímicos se encuentra influenciada además por factores como el genotipo y las condiciones ambientales, lo que puede afectar a la variabilidad entre variedades.

En el limón, los flavonoides representan el 90 % de los compuestos fenólicos totales y, junto con el ácido ascórbico, son los principales responsables de las propiedades antioxidantes atribuidas al limón (Serna-Escolano et al., 2019). Por tanto, escoger el momento óptimo de la recolección es importante para determinar la vida útil del limón, ya que un CFT más alto supone unas mayores propiedades antioxidantes, confiriendo una mayor tolerancia al estrés y aumentando las posibilidades de almacenamiento.

Actividad antioxidante total

En la Figura 7 puede observarse el descenso de la actividad antioxidante total (AAT) de todas las variedades estudiadas durante el periodo de muestreo. Asimismo, se aprecia que el nivel de AAT de la variedad ‘Fino’ es menor que el de ‘Eureka’ y ‘Verna’. La Tabla 2 muestra que existen diferencias significativas en la AAT entre variedades, días de muestreo e interacción “variedad” y “día”.

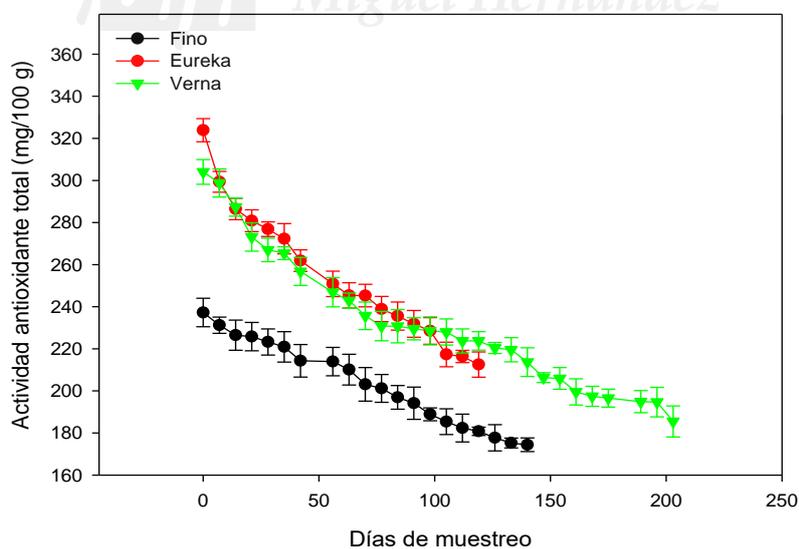


Figura 7. Evolución de la actividad antioxidante total (AAT) de las variedades ‘Fino’ (●), ‘Eureka’ (●) y ‘Verna’ (▼) durante el periodo de muestreo.

Las frutas y vegetales contienen una amplia gama de compuestos que exhiben actividad antioxidante, siendo algunos de los más comunes los compuestos fenólicos como las antocianinas, carotenoides, vitaminas (C y E) y glucosinolatos (Valero y Serrano, 2013). Otros autores (Xu et al., 2008; Dong et al., 2019) han encontrado una estrecha correlación entre la AAT y el CFT, confirmando las relaciones entre los compuestos fenólicos de tejidos vegetales y su capacidad para eliminar los radicales libres. La actividad antioxidante de los cítricos es un efecto complejo, que depende principalmente de la

composición, la cantidad y la interacción de los fenoles individuales (Xi et al., 2017). Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con resultados anteriores, ya que se produjo un descenso tanto del CFT como de la AAT durante la maduración de los frutos. Las diferencias en la AAT entre las variedades estudiadas podrían atribuirse a la variabilidad en la composición y cantidad de compuestos con capacidad antioxidante.

Conclusiones

En conclusión, las variedades 'Fino', 'Eureka' y 'Verna' han mostrado un comportamiento muy diferente en los parámetros estudiados durante el desarrollo y maduración del fruto. Se han encontrado mayores diferencias en la variedad 'Verna' con respecto a las otras dos variedades, debido a su carácter tardío. El análisis de los parámetros estudiados es importante para la determinación del momento óptimo de recolección, ya que factores como la calidad del limón y el periodo de almacenamiento pueden verse influidos por el contenido en fenoles totales, capacidad antioxidante, sólidos solubles totales o acidez titulable del fruto, entre otros. Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten conocer más profundamente el comportamiento de estas variedades de limón, repercutiendo en la mejora de las condiciones de cultivo y tratamientos para obtener frutos con características óptimas de calidad y almacenamiento postcosecha.

Bibliografía

- AEMET, 2019. Análisis estacional. Murcia.
- Alae-Carew, C., Nicoleau, S., Bird, F.A., Hawkins, P., Tuomisto, H.L., Haines, A., Dangour, A.D., Scheelbeek, P.F.D., 2020. The impact of environmental changes on the yield and nutritional quality of fruits, nuts and seeds: a systematic review. *Environ. Res. Lett.* 15, 023002.
- Albertini, M.V., Carcouet, E., Pailly, O., Gambotti, C., Luro, F., Berti, L., 2006. Changes in Organic Acids and Sugars during Early Stages of Development of Acidic and Acidless Citrus Fruit. *J. Agr. Food Chem.* 54, 8335-8339.
- Azzolini, M., Jacomino, A.P., Urbano-Bron, I., Kluge, R.A., Schiavinato, M.A., 2005. Ripening of 'Pedro Sato' guava: study of its climateric or non-climateric nature. *Braz. J. Plant Physiol.* 17, 299-306.
- Barry, G.H., Castle, W.S., 2004. Rootstocks and plant water relations affect sugar accumulation of citrus fruit via osmotic adjustment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129, 881-889.
- Bhattacharya, A., Sood, P., Citovsky, V., 2010. The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection. *Mol. Plant Pathol.* 11, 705-719.
- Brotos, J.M., Manera, J., Conesa, A., Porras, I., 2013. A fuzzy approach to the loss of green colour in lemon (*Citrus limon* L. Burm. f.) rind during ripening. *Comput. Electron. Agr.* 98, 222-232.
- Conesa, A., Brotos, J.M., Manera, F.C., Castañer, R., Porras, I., 2015. El cambio de color de la corteza del limonero 'Verna' y 'Fino', XIV Congreso de la SECH, Orihuela, pp. 290-293.
- Del Río, J.A., Fuster, M.D., Gómez, P., Porras, I., García-Lidón, A., Ortuño, A., 2004. *Citrus limon*: a source of flavonoids of pharmaceutical interest. *Food Chem.* 84, 457-461.
- Dong, X., Hu, Y., Li, Y., Zhou, Z., 2019. The maturity degree, phenolic compounds and antioxidant activity of Eureka lemon [*Citrus limon* (L.) Burm. f.]: A negative correlation between total phenolic content, antioxidant capacity and soluble solid content. *Sci. Hortic.* 243, 281-289.
- Eaks, I.L., 1970. Respiratory response, ethylene production, and response to ethylene of citrus fruit during ontogeny. *Plant Physiol.* 45, 334-338.
- FAOSTAT, 2018. Producción y Cultivos.
- Gao, J., Liu, M., Li, Z., Zhang, Y., 2020. Role of ethylene response factors (ERFs) in fruit ripening. *FQS* 4, 15-20.
- García-García, J., 2014. Análisis del sector del limonero y evaluación económica de su cultivo. Organismo Autónomo Boletín Oficial de la Región de Murcia, Murcia.
- García-Lidón, A., Del Río-Conesa, J.A., Porras-Castillo, I., Fuster-Soler, M.D., Ortuño-Tomás, A., 2003. El limón y sus componentes bioactivos. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Murcia.
- Gil-Izquierdo, A., Riquelme, M.T., Porras, I., Ferreres, F., 2004. Effect of the Rootstock and Interstock Grafted in Lemon Tree (*Citrus limon* (L.) Burm.) on the Flavonoid Content of Lemon Juice. *J. Agric. Food Chem.* 52, 324-331.

- González-Molina, E., Moreno, D.A., García-Viguera, C., 2008. Genotype and Harvest Time Influence the Phytochemical Quality of Fino Lemon Juice (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) for Industrial Use. *J. Agric. Food Chem.* 56, 1669-1675.
- Guardiola, J.L., Garcia-Luis, A., 2000. Increasing fruit size in *Citrus*. Thinning and stimulation of fruit growth. *Plant Growth Regul.* 31, 121-132.
- Guillén, F., Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., Martínez-Romero, D., 2013. *Aloe arborescens* and *Aloe vera* gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest Biol. Tec.* 83, 54-57.
- Iglesias, D.J., Cercós, M., Colmenero-Flores, J.M., Naranjo, M.A., Ríos, G., Carrera, E., Ruiz-Rivero, O., Lliso, I., Morillon, R., Tadeo, F.R., Talon, M., 2007. Physiology of citrus fruiting. *Braz. J. Plant Physiol.* 19, 333-362.
- Ignat, I., Volf, I., Popa, V.I., 2011. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chem.* 126, 1821-1835.
- Katz, E., Lagunes, P.M., Riov, J., Weiss, D., Goldschmidt, E.E., 2004. Molecular and physiological evidence suggests the existence of a system II-like pathway of ethylene production in non-climacteric *Citrus* fruit. *Planta* 219, 243-252.
- Khan, N.A., Khan, M.I.R., Ferrante, A., Poor, P., 2017. Editorial: Ethylene: A Key Regulatory Molecule in Plants. *Front Plant Sci.* 8, 1782.
- Lin, J., Rexrode, K.M., Hu, F., Albert, C.M., Chae, C.U., Rimm, E.B., Stampfer, M.J., Manson, J.E., 2007. Dietary intakes of flavonols and flavones and coronary heart disease in US women. *Am. J. Epidemiol.* 165, 1305-1313.
- Manera, F.C., Brotons, J.M., Conesa, A., Porrás, I., 2012. Relationship between air temperature and degreening of lemon (*Citrus lemon* L. Burm. F.) Peel color during maturation. *Aust. J. Crop Sci.* 6, 1051-1058.
- Matilla, A.J., 2000. Ethylene in seed formation and germination. *Seed Sci. Res.* 10, 111-126.
- Mcharek, N., Hanchi, B., 2017. Maturational effects on phenolic constituents, antioxidant activities and LC-MS / MS profiles of lemon (*Citrus limon*) peels. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 90, 1-9.
- Multari, S., Licciardello, C., Caruso, M., Martens, S., 2020. Monitoring the changes in phenolic compounds and carotenoids occurring during fruit development in the tissues of four citrus fruits. *Food Res. Int.* 134, 109228.
- Nawaz, R., Akhtar Abbasi, N., Ahmad Hafiz, I., Khalid, A., 2019. Color-break effect on Kinnow (*Citrus nobilis* Lour x *Citrus deliciosa* Tenora) fruit's internal quality at early ripening stages under varying environmental conditions. *Sci. Hortic.* 256, 108514.
- Perez-Perez, J.G., Porrás-Castillo, I., Garcia-Lidon, A., Botia, P., Garcia-Sanchez, F., 2005. Fino lemon clones compared with the lemon varieties Eureka and Lisbon on two rootstocks in Murcia (Spain). *Sci. Hortic.* 106, 530-538.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D., 2011. Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chem.* 124, 964-970.
- Serna-Escolano, V., Valverde, J.M., Garcia-Pastor, M.E., Valero, D., Castillo, S., Guillen, F., Martinez-Romero, D., Zapata, P.J., Serrano, M., 2019. Pre-harvest methyl jasmonate treatments increase antioxidant systems in lemon fruit without affecting yield or other fruit quality parameters. *J. Sci. Food Agric.* 99, 5035-5043.
- Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Fatahi Moghadam, J., Ebrahimi, R., 2016. Effect of CaCl₂ Sprays at Different Fruit Development Stages on Postharvest Keeping Quality of "Hayward" Kiwifruit. *J. Food Process. Preserv.* 40, 624-635.
- Sun, Y., Singh, Z., Tokala, V.Y., Heather, B., 2019. Harvest maturity stage and cold storage period influence lemon fruit quality. *Sci. Hortic.* 249, 322-328.
- Tadeo, F.R., Cercós, M., Colmenero-Flores, J.M., Iglesias, D.J., Naranjo, M.A., Ríos, G., Carrera, E., Ruiz-Rivero, O., Lliso, I., Morillon, R., Ollitrault, P., Talon, M., 2008. Molecular Physiology of Development and Quality of *Citrus*. *Adv. Bot. Res.* 47, 147-223.
- Toivonen, P.M.A., 2007. Fruit maturation and ripening and their relationship to quality. *Stewart Postharvest Rev.* 3, 1-5.
- Valero, D., Serrano, M., 2010. Fruit ripening, Postharvest Biology and Technology For Preserving Fruit Quality, 1 ed. CRC Press - Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 7-47.
- Valero, D., Serrano, M., 2013. Growth and ripening stage at harvest modulates postharvest quality and bioactive compounds with antioxidant activity. *Stewart Postharvest Rev.* 3, 1-8.
- Xi, W., Lu, J., Qun, J., Jiao, B., 2017. Characterization of phenolic profile and antioxidant capacity of different fruit part from lemon (*Citrus limon* Burm.) cultivars. *J. Food Sci. Technol.* 54, 1108-1118.
- Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y., Shi, J., 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chem.* 106, 545-551.