

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



**EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO
CONTROLADO SOBRE EL PERFIL DE
COMPUESTOS BIOACTIVOS DE
AGUACATE**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Convocatoria 2020

AUTOR: Miriam Rabasco Coll

DIRECTORES: Ángel Antonio Carbonell-Barrachina y Leontina Lipan



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

VISTO BUENO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2019/2020

Director/es del trabajo
Ángel Antonio Carbonell-Barrachina Leontina Lipan

Dan su visto bueno al Trabajo Fin de Máster

Título del Trabajo
Efecto del riego deficitario controlado sobre el perfil de compuestos bioactivos de aguacate
Alumno
Miriam Rabasco Coll

Orihuela, a 21 de SEPTIEMBRE de 2020

ANGEL
ANTONIO|
CARBONELL|
BARRACHINA

Firmado digitalmente
por ANGEL ANTONIO|
CARBONELL|
BARRACHINA
Fecha: 2020.09.21
17:55:56 +02'00'

Leontina
Lipan

Firmado digitalmente
por Leontina Lipan
Fecha: 2020.09.21
17:08:03 +02'00'

Firma/s tutores trabajo



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Título: Efecto del riego deficitario controlado sobre el perfil de compuestos bioactivos de aguacate.

Title: Effect of sustained deficit irrigation on the profile of bioactive compounds of avocado.

Modalidad (proyecto/experimental): Experimental

Type (project/research): Research

Autor/Author: Miriam Rabasco Coll

Director/es/Advisor: Ángel Antonio Carbonell-Barrachina y Leontina Lipan

Convocatoria: 2020

Month and year: Septiembre 2020

Número de referencias bibliográficas/number of references: 23

Número de tablas/Number of tables: 2

Número de figuras/Number of figures: 3

Número de planos/Number of maps: 0

Palabras clave (5 palabras): ácidos grasos, ácido oleico, estrés hídrico, proporción ácido oleico/ácido linoleico, *Persea americana* Mill...

Key words (5 words): fatty acids, oleic acid, water stress, oleic/linoleic ratio, *Persea americana* Mill.



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

RESUMEN:

El aceite de aguacate ha generado un creciente interés entre los consumidores debido a sus características nutricionales y tecnológicas. En los últimos años se han publicado diferentes estudios sobre factores pre y postcosecha que afectan a la calidad de la fracción lipídica y otros compuestos bioactivos del aguacate. Sin embargo, no hay estudios previos sobre el efecto del riego deficitario en estos componentes. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la morfología, el perfil y contenido de los ácidos grasos (*Persea americana* Mill., cv. Hass), así como, la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales, de aguacates cultivados en condiciones de riego deficitario sostenido (RDS) en la costa de Granada (Almuñécar). Para ello, se midieron el tamaño y el peso de los frutos enteros (conservados a temperatura ambiente) a los 10 días tras la cosecha en campo. Mientras que, el contenido graso, la actividad antioxidante, el contenido de fenoles totales y el perfil lipídico se midieron en el mesocarpio liofilizado empleando el método Soxhlet, espectrofotometría y cromatografía de gases acoplada a un detector de llama respectivamente. Los resultados mostraron que el RDS afectó de forma negativa a la morfología de los aguacates (tamaño y peso), mientras que el contenido graso no fue afectado. Además, se observó un aumento en la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales en los frutos cultivados mediante RDS. Con respecto a los ácidos grasos, se observó un incremento en el contenido de ácidos grasos saturados y polinsaturados (AGS y AGPI) en los 3 niveles de estrés y una disminución del contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) en el tratamiento RDS50. Finalmente, se puede concluir que el RDS ayudó a aumentar compuestos bioactivos de gran interés como los antioxidantes, polifenoles, AGMI y AGPI, pero llevó a una disminución del tamaño y el peso de estos frutos. Aunque, para corroborar estos resultados se deben realizar futuros estudios teniendo en cuenta diferentes temporadas, variedades y estrategias de riego deficitario.

ABSTRACT:

Avocado oil has generated increasing interest among consumers due to its nutritional and technological characteristics. In recent years, different studies have been published on pre- and post-harvest factors that affect the quality of the lipid fraction and other bioactive compounds of avocado. However, there are no previous studies on the effect of deficit irrigation on these components. Therefore, the objective of this work was to determine the morphology, profile and content of fatty acids (*Persea americana* Mill.,

cv. Hass), as well as the antioxidant activity and the total phenolic content, of avocados grown under sustained deficit irrigation (RDS) conditions on the coast of Granada (Almuñécar). For this, the size and weight of the whole fruits were measured 10 days after harvest and conservation at room temperature. Whereas, the fat content, the antioxidant activity, the total phenolic content, and the lipid profile were measured in the lyophilized mesocarp using the Soxhlet method, spectrophotometry and gas chromatography coupled to a flame detector, respectively. The results showed that the RDS negatively affected the morphology of avocados (size and weight), while contrary was observed for the fat content. In addition, an increase in antioxidant activity and total phenolic content was observed in the fruits grown under RDS. Regarding fatty acids, an increase in the content of saturated and polyunsaturated fatty acids (AGS and AGMI) was observed in the 3 stress levels of deficit irrigation and a decrease in the content of monounsaturated fatty acids (AGMI) in the RDS50 treatment. Finally, it can be concluded that RDS reached to enhance bioactive compounds of great interest such as antioxidants, polyphenols, AGMI and AGPI, but led to a reduction in the size and weight of these fruits. However, to corroborate these results, further studies are needed considering different seasons, varieties, and deficit irrigation strategies.





Programa Científico Preliminar

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

	<i>J. Piernas, M.E. García-Pastor, J. Medina-Santamarina, S. García, P.J. Zapata</i>
Sesión 3	Agricultura Sostenible. Cambio Climático y Estrés Ambientales. Moderador: Dra. María Jesús Pascual Villalobos (IMIDA Murcia).
12:45-14:00	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	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. Roca, A. Gálvez, F.M. del Amor</i>
S3-P4	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. Carbonell-Barrachina</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).
16:00-16:30	Presentaciones Orales
16:00-16:15 S4-O1	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>
16:15-16:30 S4-O2	Estudio de supervivencia de dos líneas de conejo seleccionadas divergentemente por variabilidad del tamaño de camada al parto. <i>I. Agea, M.L. García y M.J. Argente</i>
Sesión 5	Instalaciones Industriales y Agrícolas. Moderador: Dr. José Miguel Molina Martínez (Universidad Politécnica de Cartagena).
16:30-17:00	Presentaciones Orales
16:30-16:45 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>
16:45-17:00 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	Resultados preliminares de un nodo inalámbrico de bajo coste y bajo consumo para medición de parámetros agroclimáticos. <i>C. Molina-Cabrera, J.J. Pérez-Solano, M. Oates, C. Colinas-González, J.M. MolinaMartínez, Fuqiang Yu, M. Ferrández-Villena, García, A. Ruiz-Canales</i>

Sesión 6	Gestión del Agua, Nutrición y Energía en Horticultura. Moderador: Dr. José Miguel Molina Martínez (Universidad Politécnica de Cartagena).
17:00-17:30	Presentaciones Orales
17:00-17:15 S6-O1	Caracterización de una cuenca hidrográfica y diseño de las infraestructuras necesarias para aplicar las escorrentías generadas mediante riego subterráneo. <i>A. Carrión-Antolí, V. Martínez-Álvarez y J.F. Maestre-Valero</i>
17:15-17:30 S6-O2	Plataforma integral para el control de explotaciones agrícolas mediante monitorización de parámetros agronómicos y control de la programación de riego. <i>M. Soler-Méndez, L. Ávila-Dávila, D. Parras-Burgos, D. Intrigliolo-Molina y J. M. Molina-Martínez</i>
17:30-17:40	Presentación en Póster Sesión 5 y Sesión 6
S6-P1	Estimación de la lluvia efectiva mediante utilización de lisimetría de pesada. <i>L. Ávila-Dávila, M. Soler-Méndez, D. Escarabajal-Henarejos y J.M. Molina-Martínez</i>
17:40-18:00	Pausa Café
Sesión 7	Usos del Territorio. Valoración de Recursos Agrarios. Desarrollo Rural. Moderador: Dra. María Ángeles Fernández Zamudio (IVIA-Valencia).
18:00-19:30	Presentaciones Orales
18:00-18:15 S7-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>
18:15-18:30 S7-O2	Estrategias de medios de vida de las explotaciones ganaderas extensivas de las comarcas del Pallars (Cataluña). <i>A. Lecegui, A.M. Olaizola, F. López-i-Gelats, B. Vidal y E. Varela</i>
18:30-18:45 S7-O3	Caracterización edafológica de los suelos de la Denominación de Origen Protegida Granada Mollar de Elche. <i>R. Castejón, E. Martínez-Sabater, M. A. Molina y C. Paredes</i>
18:45-19:00 S7-O4	Caracterización de la fibra dietética de frambuesa. <i>L. Sánchez-Martínez, V. Núñez-Gómez, N. Baenas, R. González-Barrio, F.J. García-Alonso y M.J. Periago</i>

19:00-19:15 S7-O5	Población y valor productivo de la quinoa peruana: relación y perspectivas en el acceso al superalimento. <i>J. Huilca-Quispe, B. Segura y L. Miranda</i>
Sesión 8	Economía Agraria y Gestión de Empresas. Moderador: Dra. María Ángeles Fernández Zamudio (IVIA-Valencia).
19:30-20:15	Presentaciones Orales
19:30-19:45 S8-O1	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-O2	La gestión sostenible de los agroecosistemas: ¿Qué y quiénes? <i>J. A. Zabala</i>
20:00-20:15 S8-O3	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-O1	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-O2	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-Tnguila, K. Salazar-García, A.A. Carbonell-Barrachina y C. Paredes.</i>
9:30-9:45 S9-O3	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 in situ 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 procesamiento de productos vegetales. Moderador: Dr. Daniel Valero Garrido (Universidad Miguel Hernández).
11:15-14:00	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-O3	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. <i>M.E. García-Pastor, M. Serrano, D. Valero, F. Guillén y P.J. Zapata</i>
12:00-12:15 S11-O4	Los tratamientos con salicilatos estimulan la respuesta sistémica inducida en la uva de mesa 'Crimson' y 'Magenta' <i>A. Belda, M.E. García-Pastor, D. Valero y M. Serrano</i>
12:15-12:30 S11-O5	Efecto de los tratamientos con melatonina durante el desarrollo de la cereza en el árbol sobre su calidad en post-recolección. <i>L. Serrano, A. Carrión-Antolí, J.M. Lorente, M. Serrano y D. Valero</i>
12:30-12:45 S11-O6	Cambios en los compuestos bioactivos durante la conservación de la granada 'Mollar de Elche' a 10 y 2 °C. <i>I. Paqán-Navarro, J.M. Lorente, D. Valero, M. Serrano</i>
12:45-13:00 S11-O7	Influencia de las condiciones agronómicas y climáticas sobre la calidad del limón 'Fino' para su conservación postcosecha. <i>S. Pardo-Pina, V. Serna-Escolano y P.J. Zapata</i>
13:00-13:15 S11-O8	Estudio de los cambios fisiológicos durante la maduración de las variedades de limón 'Eureka', 'Fino' y 'Verna'. <i>R. Díaz-Puertas, V. Serna-Escolano y P.J. Zapata</i>
13:15-13:30 S11-O9	Influencia de la variedad y zona geográfica del cultivo en la calidad del limón para su comercialización. <i>A. Díaz, R. Díaz, S. Pardo-Pina, V. Serna-Escolano y P.J. Zapata</i>
13:30-13:45 S11-O10	Tratamientos pre-cosecha con elicitores para mejorar la producción y la calidad post-cosecha de cereza (<i>Prunus avium</i> L.) <i>C. Ruiz-Aracil, J.M. Lorente-Mento, L. Raducán y F. Guillén</i>
13:45-14:00 S11-O11	Aplicación de tratamientos post-cosecha para incrementar la calidad y reducir los daños por frío en calabacín (<i>Cucurbita pepo</i> L.). <i>J. Medina-Santamarina, M. Serrano, S. Castillo, D. Martínez-Romero y F. Guillén</i>
14:00-14:24	Presentación en Póster
S11-P1	Evolución de la calidad microbiológica y organoléptica de la ensalada de iv gama "gourmet" (canónigos, escarola y Radicchio) en los refrigeradores domésticos.

	<i>C. Manzanera, J.M. Lorente, J.M. Valverde, M. Serrano y M.T. Pretel.</i>
S11-P2	Obtención de gajos de cítricos ecológicos mediante pelado enzimático. Una alternativa sostenible para el consumo de conveniencia. <i>M.T. Pretel, J.P. López, C. Orenes y M. Serrano</i>
S11-P3	Incremento de la vida útil en almacenamiento refrigerado de limón 'Fino' por la aplicación precosecha de ácido oxálico. <i>V. Serna-Escolano, D. Martínez-Romero, J.M. Valverde, M. Serrano y P.J. Zapata</i>
S11-P4	Aplicación en precosecha de ácido oxálico para mejorar la calidad de uva durante su almacenamiento en frío. <i>E. Contreras-García, M.E. García-Pastor y P.J. Zapata</i>
11:30-11:45 S11-P5	Efecto de diferentes tratamientos de pasteurización sobre la calidad de gajos de clementina ecológica en V gama. <i>J.P. López, C. Orenes., M. Serrano y M.T. Pretel</i>
14:25-16:00	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	Importancia del concepto hidroSostenible en almendras tostadas en consumidores de diferentes regiones geográficas. <i>C. Teruel Andreu, L. Lipan y Á.A. Carbonell-Barrachina</i>
16:15-16:30 S12-O2	Desarrollo de un Check-List como herramienta para verificar el autocontrol del sistema de inocuidad en una empresa de distribución alimentaria. <i>M.A. Pastor, P. Corraliza y J.M. Valverde</i>
16:30-16:45 S12-O3	Desarrollo e implantación de un plan de acción frente al COVID-19 en los supermercados de la empresa Musgrave España SA. <i>A. Gelardo, P. Corraliza, L. Noguera-Artiaga y J.M. Valverde</i>
16:45-17:00 S12-O4	Desarrollo de una nueva cerveza artesanal con brócoli enriquecida en compuestos bioactivos. <i>M. Zoyo, M.J. Giménez, C. García-Viguera y P.J. Zapata</i>

17:00-17:15 S12-O5	Aprovechamiento de desechos generados en la industria de la aceituna rellena para la elaboración de nuevos productos alimenticios. <i>I. Paqán-Turpin, M.E. Garcia-Pastor, M.J. Giménez y P. J. Zapata</i>
17:15-17:30 S12-O6	Modelos de digestión <i>in vitro</i> y su aplicación para evaluar alimentos funcionales: espaguetis enriquecidos con harina de caqui. <i>R. Lucas-González, J.A. Pérez-Álvarez, M. Viuda-Martos y J. Fernández-López</i>
17:30-18:00	Pausa Café
18:00-18:15 S12-O7	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>
18:15-18:30 S12-O8	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>
18:30-18:45	Presentación en Póster
S12-P1	Influencia del tiempo de fermentación y digestión gastrointestinal <i>in vitro</i> 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>
18:45-19:15	Ceremonia de Clausura

Efecto del riego deficitario controlado sobre el perfil de compuestos bioactivos de aguacate

M. Rabasco¹, L. Lipan¹, A. Nems², H. Issa-Issa¹, V. H. Durán-Zuazo³, I. F. García-Tejero⁴, A. Carbonell-Barrachina¹

¹ Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Grupo de Investigación de Calidad y Seguridad Alimentaria, Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Carretera de Beniel, km 3.2, 03312, Orihuela, Alicante. E-mail: miriam.rabasco@goumh.umh.es

² Departamento de Departamento de Tecnología y Almacenamiento de Alimentos, Universidad de Ciencias Ambientales, Wrocław, Polonia.

³ Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria. Centro IFAPA “Camino de Purchil”. Camino de Purchil s/n. 18004, Granada.

⁴ Centro IFAPA “Las Torres”. Ctra. Sevilla-Cazalla, km 12.2. 41,200. Alcalá del Río, Sevilla, Spain

Resumen

El aceite de aguacate ha generado un creciente interés entre los consumidores debido a sus características nutricionales y tecnológicas. En los últimos años se han publicado diferentes estudios sobre factores pre y post-cosecha que afectan a la calidad de la fracción lipídica y otros compuestos bioactivos del aguacate. Sin embargo, no hay estudios previos sobre el efecto del riego deficitario en estos componentes. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la morfología, el perfil y contenido de los ácidos grasos (*Persea americana* Mill., cv. Hass), así como, la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales, de aguacates cultivados en condiciones de riego deficitario sostenido (RDS) en la costa de Granada (Almuñécar). Para ello, se midieron el tamaño y el peso de los frutos enteros (conservados a temperatura ambiente) a los 10 días tras la cosecha en campo. Mientras que, el contenido graso, la actividad antioxidante, el contenido de fenoles totales y el perfil lipídico se midieron en el mesocarpio liofilizado empleando el método Soxhlet, espectrofotometría y cromatografía de gases acoplada a un detector de llama respectivamente. Los resultados mostraron que el RDS afectó de forma negativa a la morfología de los aguacates (tamaño y peso), mientras que el contenido graso no fue afectado. Además, se observó un aumento en la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales en los frutos cultivados mediante RDS. Con respecto a los ácidos grasos, se observó un incremento en el contenido de ácidos grasos saturados y polinsaturados (AGS y AGPI) en los 3 niveles de estrés y una disminución del contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) en el tratamiento RDS₅₀. Finalmente, se puede concluir que el RDS ayudó a aumentar compuestos bioactivos de gran interés como los antioxidantes, polifenoles, AGMI y AGPI, pero llevó a una disminución del tamaño y el peso de estos frutos. Aunque, para corroborar estos resultados se deben realizar futuros estudios teniendo en cuenta diferentes temporadas, variedades y estrategias de riego deficitario.

Palabras clave: ácidos grasos, ácido oleico, estrés hídrico, proporción ácido oleico/ácido linoleico, *Persea americana* Mill...

Effect of sustained deficit irrigation on the profile of bioactive compounds of avocado

Abstract

Avocado oil has generated increasing interest among consumers due to its nutritional and technological characteristics. In recent years, different studies have been published on pre- and post-harvest factors that affect the quality of the lipid fraction and other bioactive compounds of avocado. However, there are no previous studies on the effect of deficit irrigation on these components. Therefore, the objective of this work was to determine the morphology, profile and content of fatty acids (*Persea americana* Mill., cv. Hass), as well as the antioxidant activity and the total phenolic content, of avocados grown under sustained deficit irrigation (RDS) conditions on the coast of Granada (Almuñécar). For this, the size and weight of the whole fruits were measured 10 days after harvest and conservation at room temperature. Whereas, the fat content, the antioxidant activity, the total phenolic content, and the lipid profile were measured in the

lyophilized mesocarp using the Soxhlet method, spectrophotometry and gas chromatography coupled to a flame detector, respectively. The results showed that the RDS negatively affected the morphology of avocados (size and weight), while contrary was observed for the fat content. In addition, an increase in antioxidant activity and total phenolic content was observed in the fruits grown under RDS. Regarding fatty acids, an increase in the content of saturated and polyunsaturated fatty acids (AGS and AGMI) was observed in the 3 stress levels of deficit irrigation and a decrease in the content of monounsaturated fatty acids (AGMI) in the RDS₅₀ treatment. Finally, it can be concluded that RDS reached to enhance bioactive compounds of great interest such as antioxidants, polyphenols, AGMI and AGPI, but led to a reduction in the size and weight of these fruits. However, to corroborate these results, further studies are needed considering different seasons, varieties, and deficit irrigation strategies.

Keywords: fatty acids, oleic acid, water stress, oleic/linoleic ratio, *Persea americana Mill.*

Introducción

Un 2,5 % del agua de la Tierra es dulce, pero solamente disponemos de un 1 % para el consumo humano, la agricultura y la industria (el resto se encuentra en forma de hielo, es subterránea o está contaminada). Además, el aumento de la población y la demanda de alimentos, así como, el cambio climático, o una mala gestión del agua conducen a un aumento en los niveles de estrés hídrico en el mundo. En un producto agroalimentario, la agricultura es el sector en el que se consume más agua y, por ello, el uso de estrategias de riego deficitario es esencial, permitiendo llegar a un uso eficiente del agua, con mínimas mermas en la producción, y una mejora de la calidad del fruto (Corell et al., 2020; Lipan et al., 2019b; Noguera-Artiaga et al., 2016; Sánchez-Rodríguez et al., 2019). Los frutos producidos bajo condiciones de riego deficitario se denominan productos *hidroSOS*tenibles, y se caracterizan por una mayor calidad nutricional, funcional y sensorial (Lipan et al., 2020; Lipan et al., 2019b; Sánchez-Rodríguez et al., 2019). La obtención de estos productos *hidroSOS*tenibles implica el uso de diferentes estrategias de riego deficitario que crean un estrés en la planta y ayudan a aumentar los compuestos bioactivos del fruto (Lipan et al., 2019b). El riego deficitario sostenido (RDS) es una estrategia de riego en el cual un menor volumen de agua (por debajo del óptimo) se aplica durante toda la temporada creando un estrés uniforme en la planta durante todo el año de cultivo.

El aguacate (*Persea americana Mill.*) es el fruto de una planta dicotiledónea de la familia Lauraceae. El fruto es originario de México, pero se comercializa en todo el mundo. Principalmente, se consume como fruta fresca, aunque también se utiliza en la industria cosmética y farmacéutica (FAO, 2004). El aguacate es una fruta que destaca por sus propiedades nutricionales y saludables, ya que presenta altos niveles de ácido oleico y esteroides que pueden influir positivamente en el control metabólico del colesterol. Es una fuente rica de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, lo que se asocia con una disminución en el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Además, el aguacate es fuente de vitaminas A, B y C, y minerales como el potasio, fósforo, magnesio o hierro, así como, una rica fuente de fibra y antioxidantes (Ali et al., 2008; Daiuto et al., 2014).

Existen varias variedades dentro de la especie *Persea americana* como son Hass, Bacon, Fuerte o Gwen, entre otras, siendo la primera una de las más comercializadas. El aguacate Hass es el cultivar más importante en todo el mundo y representa el 95 % del volumen total comercializado (Pedreschi et al., 2019). El consumo internacional de aguacates está creciendo debido a la preocupación creciente de los consumidores por una dieta saludable, ecológica y sostenible. La Organización Mundial del Aguacate prevé un aumento del 20 % de la fruta en 2020 en España.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del riego deficitario sostenido (RDS) en la calidad del aguacate: (i) morfología, materia seca y contenido graso, (ii) perfil de ácidos grasos y (iii) actividad antioxidante y contenido fenólico.

Materiales y métodos

Diseño experimental y muestras

El ensayo se realizó durante la temporada 2020 en la costa de Granada (Almuñécar) a una altitud de 14 msnm. El clima en esta zona es de estepa local, es decir, hay pocas precipitaciones durante todo el año y la temperatura media anual es de 18.3 °C, siendo la temperatura máxima promedio de 26 °C y la mínima de 11.7 °C. Los cultivos evaluados fueron aguacates (*Persea americana Mill*) de la variedad Hass sometidos a 4 tratamientos de riego durante una temporada: (i) un control o *full-irrigated* (FI), que recibió la cantidad óptima de agua de riego requerida por el cultivo (100% agua de riego), y otros tres tratamientos de riego deficitario sostenido que recibieron un volumen más bajo de agua respecto al control (ii) un 75 % de agua (RDS₇₅), (iii) un 50 % de agua (RDS₅₀) y (iv) un 33 % de agua (RDS₃₃). Al final de la temporada (mayo 2020) las muestras fueron recolectadas y, posteriormente, enviadas a la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández) para su análisis. Los frutos se mantuvieron a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) durante 13 días para su maduración de acuerdo con la literatura.

Morfología, materia seca y contenido graso

Una vez alcanzado el estado de madurez, se seleccionaron al azar 5 frutos por tratamiento, y se midió el tamaño (diámetro longitudinal y ecuatorial) utilizando un calibre digital (Mitutoyo 500-197-20, Kawasaki, Japón), y el peso (fruto entero, semilla, pulpa) con una balanza (Mettler Toledo modelo AG204, Barcelona, España). Para el resto de los análisis, se utilizaron aguacates liofilizados. Para la liofilización de las muestras, el mesocarpio de los aguacates maduros se cortó en rodajas finas, se congeló inmediatamente a -80 °C durante 24 h y se liofilizó durante 24 horas a una presión de 0.22 mbar, utilizando un liofilizador (Christ Alpha 2-4; Braum Biotech Int., Melsungen, Alemania). Las muestras se pesaron antes y después de la liofilización para calcular el peso seco. Las muestras de aguacate liofilizadas secas se trituraron en un molinillo (Moulinex AR110830) hasta obtener un polvo fino, se empacaron al vacío en bolsas de plástico y se almacenaron a -20 °C antes de la extracción y el análisis.

El porcentaje de materia seca se calculó mediante la razón entre el peso de la muestra liofilizada y el peso de la muestra sin liofilizar. El resultado se expresó en porcentaje.

Se utilizó la técnica de Soxhlet para las determinaciones de grasa, según AOAC 963.15 (AOAC). El dedal con el tejido del mesocarpio liofilizado (2 g) se colocó en el equipo Soxhlet para la extracción del contenido graso con éter dietílico durante 1,5 h. Los resultados se calcularon y expresaron en % de peso seco.

Actividad antioxidante y contenido fenólico

Para medir la actividad antioxidante y el contenido fenólico total de los aguacates, 0.5 g de muestra liofilizada con 10 ml de extractante [MeOH/agua (80:20, v/v) + 1% HCl a 20 °C] se sometieron a ultrasonidos, de acuerdo con Lipan et al. (2019b). La actividad antioxidante del extracto resultante se midió usando el método ABTS⁺ (2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) a 734 nm. Se preparó una curva de calibración de Trolox y los datos se expresaron en mmol de equivalentes Trolox por kg de peso seco (mmol TE kg⁻¹). El contenido de fenoles totales se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Gao, Bjork, Trajovski y Ugglá (2000). Se pipetearon en cubetas 0.1 ml de extracto de aguacate, 0.2 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu, y 2 ml de agua destilada. Después de 3 min, se añadió 1 ml de solución acuosa al 20 % de carbonato sódico (Na₂CO₃). Tras una hora, se midió la absorbancia a 765 nm y los resultados se expresaron en gramos de equivalentes de ácido gálico por kg de peso seco (g GAE kg⁻¹). Todas las medidas fueron realizadas en un espectrofotómetro (UV-vis) (Helios γ model, UVG 1002E; Helios, Cambridge, UK). Todos los datos representaron el valor medio de cuatro repeticiones.

Perfil de ácidos grasos

Los ésteres metílicos de ácidos grasos (EMAG) se determinaron mediante metilación según Lipan et al., 2019a y se analizaron según Tuberoso et al. (2007). Después de la extracción, los EMAG fueron separados en un cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama (Shimadzu GC17) y una columna capilar DB-23. El gas portador era He (a una presión constante de 316 KPa, el caudal inicial era de 1,2 mL min⁻¹) mientras que los gases detectores eran H₂ (30 mL min⁻¹), aire (350 mL min⁻¹) y He (35 mL min⁻¹) como gas de relleno. La temperatura del inyector era 250 °C y el detector tenía 260 °C. La temperatura preliminar fue de 175 °C durante 10 min, gradiente de temperatura de 3 °C min⁻¹ hasta 215 °C y manteniéndose 215 °C durante 15 min. El volumen de inyección fue de 0,6 uL y la relación 1:10. La identificación de picos de ácidos grasos metilados se realizó comparando los tiempos de retención de los estándares (FAME Supelco MIX-37). Los resultados se expresaron cuantitativamente como g por kg de peso seco (g kg⁻¹), utilizando tridecanoato de metilo como patrón interno.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) para el análisis estadístico de los datos y, a continuación, los datos se sometieron a la prueba de rangos múltiples de Tukey. Se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$ y se determinaron con XLSTAT Premium 2016 (Addinsoft, Nueva York, EE. UU.). Para la preparación de figuras se utilizó Sigma Plot 11.

Resultados y Discusión

Morfología, materia seca y contenido graso

La Tabla 1 muestra la morfología (tamaño y peso), la materia seca y el contenido graso de los aguacates control frente a los sometidos a un RDS. Los resultados del tamaño oscilaron entre 79.4 y 97.3 mm de diámetro longitudinal, y entre 54.9 y 66.2 mm de diámetro ecuatorial siendo los más grandes los aguacates del tratamiento control. Estudios previos de aguacates cv. Hass cultivados en Chile informaron sobre diámetros longitudinales y ecuatoriales máximos de 113 mm y 64 mm, respectivamente (Holzapfel et al., 2017). Es decir, serían frutos más largos que los de nuestro estudio, pero con un grosor similar. Martínez et al. (2003) reportaron valores máximos de diámetro ecuatorial de 69,4 mm en aguacates cultivados en Granada, una cifra ligeramente superior a los del presente estudio, mientras que, Rosales et al. (2003) obtuvieron valores bastante superiores (110 y 75 mm de diámetros longitudinal y ecuatorial, respectivamente) en aguacates de la misma variedad cultivados en Chile.

En cuanto al peso de los frutos, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el control el que presentó los aguacates de más peso (205 g), seguido de los tratamientos RSD75 y RSD50 (157 y 159 g, respectivamente), siendo el tratamiento RSD₃₃ el que obtuvo los frutos de menor peso (117 g). Carvalho et al. (2015) presentaron valores similares al tratamiento control en aguacates cultivados en Colombia con un promedio de 196 g de peso fresco, y unos valores máximo y mínimo de 223 y 115 g, respectivamente.

El estrés hídrico disminuyó de forma significativa ($p < 0.001$) la longitud y el grosor de los frutos, y, consecuentemente el peso de estos. Los aguacates control fueron los más grandes, y los del tratamiento de RSD₃₃ fueron los más pequeños, mientras que entre los tratamientos RSD₇₅ y RSD₅₀ no se observaron diferencias significativas en cuanto a la morfología del fruto. Holzapfel et al. (2017) también estudiaron el efecto de diferentes tratamientos de riego (25 %, 50 %, 75 % y 100 %) en aguacates cultivados en Chile y observaron un aumento tanto en el tamaño como en la producción de fruta en el tratamiento del 75 %. Otros autores concluyeron que el tamaño de los frutos varió según la

zona del cultivo, siendo mayores los frutos cultivados en las zonas más altas, aunque se deben tener en cuenta otros factores que pueden influir en el tamaño del fruto como la floración y temporada de cosecha, manejo de cultivos y otros parámetros (Carvalho et al., 2015).

Las muestras estudiadas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto al contenido de materia seca. Los aguacates presentaron un valor medio de 36.4 % de materia seca (Tabla 1), porcentaje superior al publicado por otros autores (25.6 % o 27,1 %, reportados por Ferreyra et al., 2016 y Carvalho et al., 2015, respectivamente). Esto podría ser debido a la madurez de los frutos, ya que se asocia una mayor madurez con un mayor contenido de materia seca (Donetti y Terry, 2014).

Finalmente, el contenido graso también fue estadísticamente similar entre tratamientos (promedio de los 4 tratamientos 72.5 %), es decir, el estrés hídrico no afectó a este parámetro. Pedreschi et al. (2019) informaron que el mesocarpio acumula entre un 60 y 70% de aceite basado en peso seco, valores ligeramente inferiores a los presentados en este estudio.

Tabla 1. Morfología, materia seca y contenido graso.

	Tamaño (mm)		Peso	Materia seca	Contenido graso
	Longitud	Grosor	(g)	(%)	(%)
	***	***	***	NS	NS
	ANOVA[†]				
	Test de Rangos Múltiples Tukey[‡]				
FI	97.3a	66.2a	205a	36.8	73.1
RDS ₇₅	87.0b	60.5b	157b	35.0	70.8
RDS ₅₀	88.9b	60.5b	159b	36.6	72.2
RDS ₃₃	79.4c	54.9c	117c	37.2	73.9

[†]NS = no significativo ($p < 0.05$); *, **, y *** diferencias significativas $p < 0.05$, 0.01, y 0.001, respectivamente. [‡]Valores (media de 3 repeticiones), seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna y factor, no fueron diferentes significativamente ($p < 0.05$), según la prueba rangos múltiples de Tukey.

Anatomía

En la Figura 1 se puede observar la distribución de la anatomía de los aguacates para cada tratamiento.

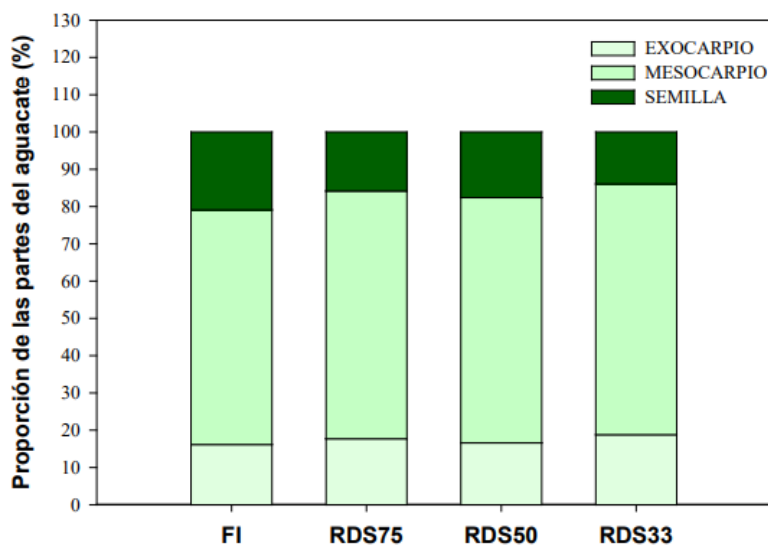


Figura 1. Distribución de la anatomía de los aguacates para cada tratamiento.

Los frutos presentaron un promedio de 17 % de exocarpio, 67 % de mesocarpio y 17 % de semilla. Dichos valores son similares a los reportados por Wang et al. (2010) quienes obtuvieron una distribución media de 18%, 69% y 13%, respectivamente. El estrés hídrico no afectó a la proporción de las partes que forman el aguacate (Figura 1).

Actividad antioxidante y contenido fenólico total

El efecto del riego sobre la actividad antioxidante (ABTS⁺) y el contenido de fenoles totales (CFT) se puede observar en la Figura 2. La actividad antioxidante fue significativamente más alta en las muestras sometidas a los tratamientos de RDS de 75 %, 50 % y 33 % (9,03, 8,08 y 7.43 mmol Trolox kg⁻¹), mientras que los valores más bajos se encontraron en los aguacates control (6,32 mmol Trolox kg⁻¹). Campos et al. (2020) mostraron diferencias significativas en aguacate Hass en diferentes etapas de madurez, siendo los valores más altos de actividad antioxidante, tanto hidrofílica como lipofílica, cuando el fruto alcanza su madurez comestible. Por otro lado, los tratamientos RDS₇₅ y RDS₅₀ fueron los que obtuvieron los frutos con mayor cantidad de fenoles totales (6.73 g GAE kg⁻¹), siendo estadísticamente diferentes a los frutos del tratamiento control (4,06 g GAE kg⁻¹) y de SDI₃₃ (4,77 g GAE kg⁻¹) (Figura 2). Dichos valores fueron inferiores a los reportados por Villa-Rodríguez et al (2011) y superiores a los obtenidos por Rodríguez-Carpena et al. (2011). Estas diferencias podrían explicarse por el grado de crecimiento y desarrollo de los frutos, así como por las condiciones climáticas (Wang et al., 2012). Con respecto al efecto del estrés hídrico, los resultados mostraron un aumento en la actividad antioxidante de los aguacates cultivados mediante un nivel moderado de estrés (RDS₇₅), disminuyendo con el aumento del estrés hídrico (RDS₅₀ y RDS₃₃). El mismo comportamiento se observó en el CFT lo que nos lleva a la conclusión de que un estrés de 33 % de agua disminuye la cantidad de polifenoles, aunque sigue siendo más alta que en el control.

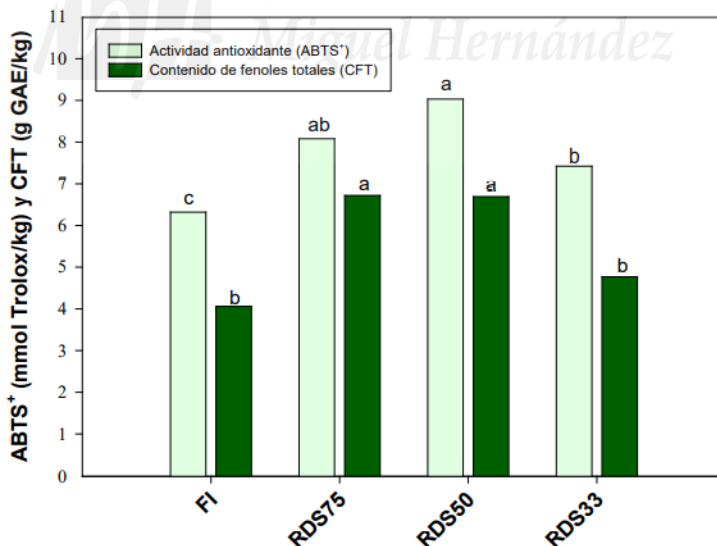


Figura 2. Efecto de la dosis de riego sobre la actividad antioxidante (mmol Trolox kg⁻¹) y el contenido fenólico total (g GAE kg⁻¹) en aguacate.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos de los aguacates de la variedad Hass sometidos a los cuatro tratamientos de riego (FI, RDS₇₅, RDS₅₀ y RDS₃₃) y los resultados se muestran en la Tabla 2. El ácido oleico (18:1) fue el ácido graso predominante, seguido del ácido palmítico (16:0), ácido linoleico (18:2), y ácido palmitoleico (16:1), con valores promedio de 40 %, 19 %, 14 % y 12%, respectivamente (Tabla 2).

Como se puede observar en la Tabla 2, los ácidos cáprico, láurico, mirístico, miristoleico,

pentadecanoico y pentadecenoico son minoritarios en los aguacates Hass. Entre ellos, el mirístico y el pentadecenoico (0.34 y 0.23 g kg⁻¹), sin diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de riego. Por el contrario, sí se mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos de riego en el ácido palmítico (C16:0), el segundo ácido graso mayoritario en esta fruta. Los aguacates sometidos a RDS₇₅ y RDS₃₃ presentaron los valores más altos (50.4 y 53.5 g kg⁻¹, respectivamente), mientras que los de RDS₃₃ fueron los que menor cantidad de este ácido presentaron (37.8 g kg⁻¹), siendo el tratamiento control estadísticamente similar al resto (46.1 g kg⁻¹). Al expresar dichos resultados en porcentaje sobre el total de ácidos grasos, el RDS₇₅ presentó un 15 % de ácido palmítico, y los tratamientos RDS₅₀, RDS₃₃ y FI, tuvieron un 13,9 %, 13,6 % y 13,4 %, respectivamente. Dichos valores son similares a los reportados por Pedreschi et al. (2019) (7-14 %). Según la literatura, este ácido graso disminuye al final de temporada (Mpai y Sivakumar, 2020) y a una mayor altitud del cultivo (Carvalho et al., 2015), por lo que los valores del presente estudio pueden ser ligeramente superiores ya que se cultivaron en Almuñécar (14 msnm). Por otro lado, el ácido palmitoleico con isomería *cis* en el carbono 7 (minoritario en el aguacate) y el ácido palmitoleico (C16:1) presentaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el RDS₅₀ el que presentó cantidades inferiores. Así, en el tercer ácido graso mayoritario del aguacate (C16:1) se obtuvieron cifras de 109 y 118 g kg⁻¹ en los tratamientos RDS₇₅ y RDS₃₃, respectivamente, mientras que en el RDS₅₀ se obtuvo un valor de 24.8 g kg⁻¹. El tratamiento control (FI) obtuvo un valor estadísticamente similar a todos los tratamientos (30.4 g kg⁻¹). En cuanto a los siguientes ácidos grasos minoritarios (C16:1c10, *cis*-heptadecenoico, esteárico y eláidico) destacaron los dos últimos, con unos valores promedio de 3.08 y 0.11 g kg⁻¹. A continuación, el ácido mayoritario del aguacate (ácido oleico) presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, siendo los aguacates sometidos a los tratamientos RDS₇₅ y RDS₃₃ los que obtuvieron un contenido más alto (109 y 118 g kg⁻¹, respectivamente) y el RDS₅₀, el más bajo (74 g kg⁻¹). El tratamiento control presentó un valor estadísticamente parecido de este ácido que el tratamiento RDS₇₅ (95.5 g kg⁻¹). Otros autores presentaron valores superiores a los del presente estudio ya que el valor más alto fue 41,1 % (RDS₃₃), mientras que Pedreschi et al. (2019) reportaron una cifra de 59-81 %. Mpai y Sivakumar (2020) obtuvieron un valor similar de ácido oleico (45,7 %) a mitad de temporada, aunque al final de la temporada presentaron una cifra superior (59,4 %). Carvalho et al. (2015) también reportaron unas cantidades de 42-46 % de oleico en aguacates Hass cultivados a una altitud de unos 1100 msnm, mientras que a una altitud mayor los valores aumentaron (59 %). Por otro lado, es destacable el contenido de ácido *cis*-vaccénico, el cual fue diferente estadísticamente entre el tratamiento RDS₅₀ (16.9 g kg⁻¹) y el resto de los tratamientos (promedio de los tres: 20.9 g kg⁻¹). También se presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre tratamientos en el contenido del segundo ácido graso mayoritario, el linoleico (18:2). Los tratamientos de riego del 75 % y 33 % fueron los que obtuvieron los frutos con mayor contenido de éste (40.5 y 39.1 g kg⁻¹, respectivamente), mientras que los que recibieron el 100 % y 50 % de agua presentaron un contenido inferior (32.6 y 26.9 g kg⁻¹, respectivamente). Por último, entre el resto de los ácidos grasos minoritarios presentes en la Tabla 2, destacaron el eicosenoico y alfa-linolénico, los cuales presentaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de riego. El RDS₇₅ y RDS₃₃ fueron los tratamientos que obtuvieron los frutos con mayor contenido de estos ácidos (valores promedio de 1.38 y 4.44 g kg⁻¹ de ácidos eicosenoico y alfa-linolénico, respectivamente), mientras que el RDS₅₀ fue el que menor contenido presentó (0.83 y 2.68 g kg⁻¹ de ácidos eicosenoico y alfa-linolénico, respectivamente). El grupo control fue el que obtuvo las cifras estadísticamente similares al resto de tratamientos.

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos en aguacate sometido a riego deficitario controlado (g kg^{-1} peso seco)

Compuestos	ANOVA†	FI	RDS ₇₅	RDS ₅₀	RDS ₃₃
C10:0Cáprico	**	0.04b	0.07a	0.05b	0.05b
C12:0Láurico	**	0.04b	0.03b	0.07a	0.05b
C14:0Mirístico	NS	0.33	0.36	0.26	0.39
C14:1Miristoleico	***	0.025a	0.018b	0.015b	0.039a
C15:0Pentadecanoico	***	0.05a	0.06a	0.03b	0.05a
C15:1Pentadecenoico	NS	0.20	0.25	0.20	0.27
C16:0Palmítico	**	46.1ab	50.4a	37.8b	53.5a
C16:1c7Palmitoleico	*	0.44ab	0.44ab	0.27b	0.62a
C16:1Palmitoleico	*	30.4ab	30.7a	24.8b	31.8a
C16:1c10-	NS	0.06	0.08	0.06	0.08
C17:1c10cis-Heptadecenoico	*	0.69ab	0.87ab	0.54b	0.90a
C18:0Estéarico	**	3.15ab	3.02ab	2.29b	3.86a
C18:1t9Elaidico	***	0.13a	0.10b	0.10b	0.09b
C18:1Oleico	***	95.5b	109ab	74.0c	118a
C18:1n7cis-Vaccenico	***	20.2a	20.6a	16.9b	21.9a
C18:2t9,12Linoleáidico	NS	0.53	1.08	0.51	0.73
C18:2t8c13-	NS	6.62	5.13	4.60	7.48
C18:2Alfa-linoleico	***	32.6b	40.5a	26.9b	39.1a
C20:0Araquidónico	*	0.40ab	0.39ab	0.29b	0.51a
C18:3n6 c9,6,12Gamma-linolénico	NS	0.01	0.01	0.02	0.02
C20:1c11Eicosenoico	**	1.12ab	1.29a	0.83b	1.47a
C18:3n3c9,12,15Alfa-linolénico	**	3.49ab	4.17a	2.68b	4.71a
C21:0Heneicosílico	*	0.13ab	0.11ab	0.07b	0.17a
C20:2n6c11,14Eicosadienoico	**	0.05bc	0.06ab	0.04c	0.07a
C22:0Behénico	**	0.19ab	0.21ab	0.13b	0.25a
C22:1c13Erúcico	**	0.03ab	0.04ab	0.02b	0.05a
C20:3n3c11,14,17Eicosatrienoico	*	0.03ab	0.06ab	0.03ab	0.02b
C22:2n6c13,16Docosadienoico	***	0.47c	0.85a	0.48c	0.70b
Ácidos grasos totales	***	243b	270ab	194c	287a

†NS=sin diferencias significativas a $p < 0.05$; *, ** y *** diferencias significativas a $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 , respectivamente.

‡Valores (media de 3 repeticiones) seguidos de la misma letra, dentro de la misma fila y factor, no fueron diferentes significativamente ($p < 0.05$), según la prueba de rangos múltiples de Tukey.

Respecto al total de ácidos grasos, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los diferentes tratamientos. Los de RDS₇₅ y RDS₃₃ fueron los que más cantidad presentaron (270 y 287 g kg^{-1} peso seco, respectivamente), aunque los primeros tuvieron una cantidad estadísticamente similar a la de los aguacates control (243 g kg^{-1} peso seco). Los aguacates sometidos a un déficit hídrico del 50 % fueron los que tuvieron menor cantidad de ácidos grasos (194 g kg^{-1} peso seco).

La Figura 3 muestra el efecto del tratamiento de riego deficitario sobre el contenido total de AGS, AGMI y AGPI. Con respecto a los primeros, se observaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo los tratamientos de RDS₇₅ y RDS₃₃ los que obtuvieron aguacates con un mayor contenido de AGS (54.9 y 59.1 g kg^{-1} , respectivamente) que el tratamiento de RDS₅₀ (41.2 g kg^{-1}), siendo el control estadísticamente similar a todos los tratamientos (50.6 g kg^{-1}). Sin embargo, al expresar estos resultados sobre el total de ácidos grasos obtenido en los aguacates de cada tratamiento, el porcentaje más alto de AGS lo presentaron las muestras de RDS₅₀ (21.2 %), seguido por las muestras control (20.8 %) y, por último, los tratamientos RSD₃₃ y RSD₇₅ (20.6 % y 20.3 %, respectivamente). Por otro lado, también se presentaron diferencias significativas entre tratamientos

($p < 0.001$) para los AGMI y AGPI. Los aguacates sometidos a RDS₅₀ fueron los que tuvieron menor contenido de AGMI (118 g kg⁻¹), respecto al resto de tratamientos (FI, RDS₇₅ y RDS₃₃, 149, 163 y 175 g kg⁻¹, respectivamente), y también, menor contenido de AGPI (35.3 g kg⁻¹), seguidos del tratamiento FI (43.8 g kg⁻¹) y los tratamientos RDS₇₅ y RDS₃₃ (51.8 y 52.8 g kg⁻¹, respectivamente) que fueron los que presentaron una cantidad mayor. De este modo, el riego deficitario sostenido de 75 % o 33 % podría ser una alternativa desde el punto de vista del perfil lipídico, ya que no afecta de forma negativa a éste. Cabe destacar que el aceite de aguacate se caracteriza por ser un aceite monoinsaturado, con una adecuada proporción de ácidos grasos poliinsaturados, similar al aceite de oliva. Además, contiene otros compuestos bioactivos, presentes en la fracción insaponificable (tocoferoles, polifenoles, y fitoesteroles) y se ha demostrado que este aceite funciona bien a altas temperaturas. Todas estas características indican que el aceite de aguacate tiene propiedades nutricionales que son muy apreciadas por la población, incluso para aplicaciones tecnológicas, lo que puede explicar el aumento en el consumo de esta fruta (Flores, 2019).

El perfil de ácidos grasos del aguacate puede verse afectado en gran medida por factores ambientales y geográficos (Donetti y Terry, 2014; Pedreschi et al., 2016). De este modo, se puede comprobar que el estrés hídrico en los aguacates también afectó al perfil lipídico de estos, aumentando las cantidades totales y las proporciones de éstos sobre todo en SDI₇₅ y SDI₃₃ y disminuyéndolos en el tratamiento de déficit hídrico del 50 % respecto al control.

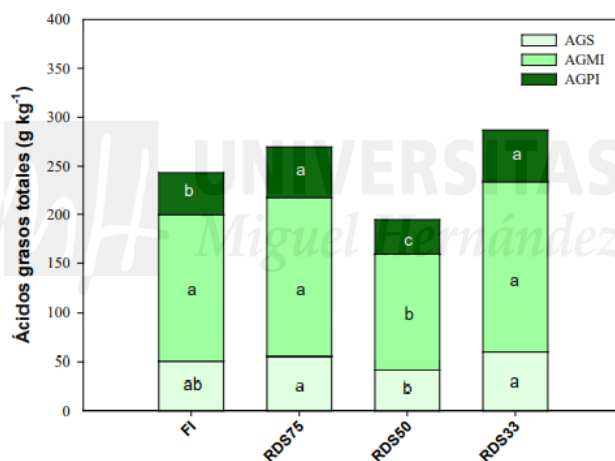


Figura 3. Ácidos grasos saturados, monoinsaturados y polinsaturados (g kg⁻¹)

Conclusiones

Este estudio es uno de los primeros en evaluar simultáneamente los parámetros de calidad (morfológicos, fisicoquímicos y funcionales) de aguacates *hidroSOSTenibles* bajo déficit de riego sostenido. Como conclusión general, se puede destacar que, tras el periodo experimental de una temporada, el porcentaje de materia seca y contenido graso de los frutos no se vieron afectados por el déficit hídrico y, a pesar de que se observó una disminución en el tamaño y peso de los frutos respecto al control, los tratamientos de riego deficitario de 75 % y 50 % aumentaron la actividad antioxidante y cantidad de fenoles totales en los frutos. Además, en los tratamientos de RDS del 75 % y 33 % aumentó la cantidad de ácidos grasos insaturados respecto al control, si bien, en el de RDS₅₀ estos disminuyeron. Por tanto, podría recomendarse un riego deficitario sostenido de 75 % en aguacates Hass como una estrategia adecuada cuando la disponibilidad de agua esté por debajo de los requisitos óptimos de riego de los cultivos, sin comprometer la calidad final de los frutos, de hecho, contribuir a aumentar compuestos bioactivos de gran interés para la salud humana.

Agradecimientos

El estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI) y Agencia Estatal de Investigación (AEI), a través de un proyecto coordinado de investigación (*hidroSOS*) que incluye la Universidad Miguel Hernández de Elche (AGL2016-75794-C4-1-R, Productos hidroSOStenibles: identificación de debilidades y fortalezas, optimización del proceso, creación de marca propia, y estudio de su aceptación en el mercado europeo, *hydroSOS foods*) y el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) con el proyecto "Impacto del riego deficitario en la productividad de los cultivos frutales subtropicales: herramientas para la gestión sostenible del estrés hídrico (PP.AVA.AVA201601.8), Programa Operativo FEDER Andalucía 2014-2020, "Andalucía se mueve con Europa".

Bibliografía

Ali, S. S., Kasoju, N., Luthra, A., Singh, A., Sharanabasava, H., Sahu, A., Bora, U. (2008). Indian medicinal herbs as source of antioxidants. *Food Research International*, 41(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.001>

AOAC. Official Methods of Analysis, 15th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, 1995.

Carvalho, C. P., Bernal E, J., Velásquez, M. A., Cartagena V, J. R. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 220-227. <http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49902>

Corell, M, Martín-Palomo, M., Sánchez-Bravo, P. Carrillo, T. Collado, J., Hernández-García, F., Girón, I., Andreu, L., Galindo, A., López-Moreno, YE., Centeno, A., Pérez-López, D., Carbonell-Barrachina y A., Moriana, A. (2020). Incorporación del uso del agua a la marca como estrategia de mejora del valor añadido del AOVE: los productos HidroSOS. *Almazaras*, 18, 54-61.

Donetti, M., Terry, L. A. (2014). Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(1), 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.011>

FAO. (2004). Avocado: Post-Harvest Operation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Flores, M., Saravia, C., Vergara, C. E., Avila, F., Valdés, H., Ortiz-Viedma, J. (2019). Avocado oil: Characteristics, properties, and applications. *Molecules*, 24(11), 2172. <https://doi.org/10.3390/molecules24112172>

Ferreira, R., Sellés, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zúñiga, C., Troncoso, Rivera, S.A., González-Agüero, M., Defilippi, B. G. (2016). Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass' at harvest. *South African Journal of Botany*, 104, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.006>

Gao, X., Björk, L., Trajkovski, V., Uggla, M. (2000). Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2021-2027. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14<2021::AID-JSFA745>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14<2021::AID-JSFA745>3.0.CO;2-2)

Lipan, L., García-Tejero, I. F., Gutiérrez-Gordillo, S., Demirbas, N., Sendra, E., Hernández, F., Durán-Zuazo, V.H., Carbonell-Barrachina, A. A. (2020). Enhancing Nut Quality Parameters and Sensory Profiles in Three Almond Cultivars by Different Irrigation Regimes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(8), 2316-2328. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06854>

Lipan, L., Martín P.M.J., Sánchez, R.L., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Hernández, F., Burló, F.,

- Vázquez-Araújo, L., Andreu, L., Carbonell-Barrachina, A.A. (2019a). Almond fruit quality can be improved by means of deficit irrigation strategies. *Agric. Water Manage.* 217, 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.041>
- Lipan, L., Moriana, A., López Lluch, D. B., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Hernández, F., Vázquez-Araujo, L., Corell, M., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019b). Nutrition quality parameters of almonds as affected by deficit irrigation strategies. *Molecules*, 24(14), 2646. <https://doi.org/10.3390/molecules24142646>
- Martinez, R., Martínez, J. J., Martínez-Valero, R., Martínez, J. (2003). Contribución al estudio de la evolución del crecimiento del fruto del cv. Hass (*Persea americana Mill*) con respecto al tiempo en las condiciones ecológicas del área de Motril (Granada, España). In Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) (pp. 257-261).
- Mpai, S., Sivakumar, D. (2020). Influence of growing seasons on metabolic composition, and fruit quality of avocado cultivars at 'ready-to-eat stage'. *Scientia Horticulturae*, 265, 109159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109159>
- Noguera-Artiaga, L., Lipan, L., Vázquez-Araújo, L., Barber, X., Pérez-López, D., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2016). Opinion of Spanish consumers on hydrosustainable pistachios. *Journal of food science*, 81(10), S2559-S2565. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13501>
- Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., Somhorst, D., Ferreyra, R., Defilippi, B. G. (2016). Impact of postharvest ripening strategies on 'Hass' avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*, 103, 32-35. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.012>
- Pedreschi, R., Uarrota, V., Fuentealba, C., Martínez-Carrasco, J. E. A., Olmedo, P., Defilippi, B. G., Meneses, G., Campos-Vargas, R. (2019). Primary metabolism in avocado fruit. *Frontiers in Plant Science*, 10, 795. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., Andrade, M. J., Kylli, P., Estévez, M. (2011). Avocado (*Persea americana Mill.*) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(10), 5625-5635. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>
- Rosales, J., Parodi, G., Carlini, B. (2003). Evaluación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana mill*) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú. In Proc V World Avocado Congress. Málaga, España (pp. 311-316).
- Sánchez-Rodríguez, L., Corell, M., Hernández, F., Sendra, E., Moriana, A., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019). Effect of Spanish-style processing on the quality attributes of HydroSOStainable green olives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1804-1811. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9373>
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231-1237. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.012>
- Wang, M., Zheng, Y., Khuong, T., Lovatt, C. J. (2012). Effect of harvest date on the nutritional quality and antioxidant capacity in 'Hass' avocado during storage. *Food Chemistry*, 135(2), 694-698. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.022>
- Wang, W., Bostic, T. R., Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food chemistry*, 122(4), 1193-1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>