

*Utilizando la estrategia de riego deficitario controlado en un nivel moderado el sector agrícola puede ahorrar un 45% del agua de riego*

# **Almendra hidroSOstenible: Mejora de la calidad del grano mediante el uso eficiente del agua de riego**

---

**Leontina Lipan<sup>1</sup>, Agustí Romero<sup>2</sup>, Esther Sendra<sup>1</sup>, Francisca Hernández<sup>3</sup>, David Bernardo López Lluch<sup>4</sup>, Mireia Corell<sup>5,6</sup> y Ángel Carbonell-Barrachina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Calidad y Seguridad Alimentaria, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Universidad Miguel Hernández, Carretera de Beniel, km 3.2, Orihuela, 03312 Alicante, España.

<sup>2</sup>Programa de Fruticultura, IRTA Mas Bové, Ctra. Reus-El Morell Km 3.8, Constantí, 43120 Tarragona, Spain.

<sup>3</sup>Grupo de Investigación Producción Vegetal, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Universidad Miguel Hernández, Carretera de Beniel, km 3.2, Orihuela, 03312 Alicante, España.

<sup>4</sup>Departamento de Economía Agroambiental, Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Universidad Miguel Hernández, Carretera de Beniel, km 3.2, Orihuela, 03312 Alicante, España.

<sup>5</sup>Departamento de Ciencias Agroforestales, ETSIA, Universidad de Sevilla, Carretera de Utrera, km 1, 41013 Sevilla, España.

<sup>6</sup>Unidad Asociada al CSIC de Uso sostenible del suelo y el agua en la agricultura (US-IRNAS), Crta de Utrera km 1, 41013 Sevilla, España.

Dentro de las diferentes estrategias para mantener la viabilidad del sector agrícola estarían la introducción de cultivos tolerantes a la sequía como es el caso del almendro y la implementación de estrategias de ahorro de agua, tales como el riego deficitario (RD) que permitan alcanzar unos rendimientos adecuados, manteniendo, o incluso mejorando, la calidad del producto final.



## Introducción

La Ley 28/2015, de 30 de julio, para la defensa de la calidad alimentaria la define como “conjunto de propiedades y características de un producto alimenticio o alimento relativas a las materias primas o ingredientes utilizados en su elaboración, a su naturaleza, composición, pureza, identificación, origen, y trazabilidad, así como a los procesos de elaboración, almacenamiento, envasado y comercialización utilizados y a la presentación del producto final, incluyendo su contenido efectivo y la información al consumidor final especialmente el etiquetado” (BOE, 2015). Desde la perspectiva del consumidor, la calidad alimentaria se compone principalmente de cualidades de experiencia como el sabor y la comodidad, junto con cualidades de credibilidad como el origen, el método de producción y la salubridad (Grunert & Aachmann, 2016).

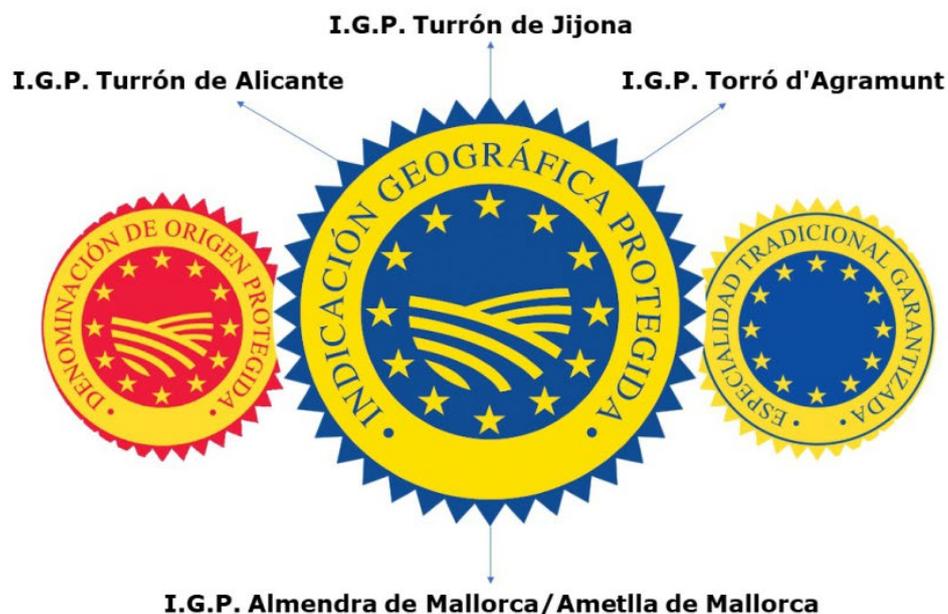


Figura 1. Figuras de calidad y ejemplos de productos relacionados con la almendra en España.

Es por ello que la Comisión Europea, ha adoptado 3 figuras de calidad en los que se pueden otorgar etiquetas de calidad a productos que cumplan ciertas condiciones. Se trata de (i) Denominación de Origen Protegida (DOP) que ampara los productos agrícolas y alimenticios que se producen, procesan y preparan en un área geográfica determinada utilizando conocimientos técnicos reconocidos; (ii) Indicación Geográfica Protegida (IGP) que ampara los productos agrícolas y alimenticios estrechamente ligados a la zona geográfica. Al menos una de las etapas de producción, procesamiento o preparación tiene lugar en la zona; y la (iii) Especialidad Tradicional Garantizada (ETG) que destaca el carácter tradicional, ya sea en la composición o en los medios de producción. Con respecto a la almendra y derivados, España cuenta con 4 productos inscritos en la categoría IGP (Figura 1) (MAPA, 2020).

Para producir productos de calidad, primero se tiene que asegurar la seguridad alimentaria que, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), existe en el momento en el que “todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (FAO, 2011). Con respecto a los alimentos nutritivos, la literatura científica confirma que actualmente se están produciendo alimentos con una calidad inferior a los que se producían antaño, debido al aumento continuo de las emisiones de CO<sub>2</sub> como gases de efecto invernadero (Ziska, 2022). Esto produce un aumento de carbohidratos en los alimentos y una disminución de nutrientes esenciales como la proteína, Mg, Fe y Zn en un 9,5%, 9,2%, 16,0% y 9,4% (Dong et al., 2018). Pero un aspecto todavía más importante para asegurar la seguridad alimentaria es garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible (Objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030), ya que la escasez de agua afecta directamente a la supervivencia. Además, el cambio climático está dificultando aún más si cabe la gestión sostenible de los recursos hídricos, debido a la escasez e irregularidad de precipitaciones y unas altas tasas de evapotranspiración. Por tanto, garantizar la producción y la calidad de los alimentos usando menos agua de riego es uno de los grandes desafíos de nuestros tiempos (FAO, 2018).

Dentro de las diferentes estrategias para mantener la viabilidad del sector agrícola estarían la introducción de cultivos tolerantes a la sequía como es el caso del almendro y la implementación de estrategias de ahorro de agua, tales como el riego deficitario (RD) que permitan alcanzar unos rendimientos adecuados, manteniendo, o incluso mejorando, la calidad del producto final.

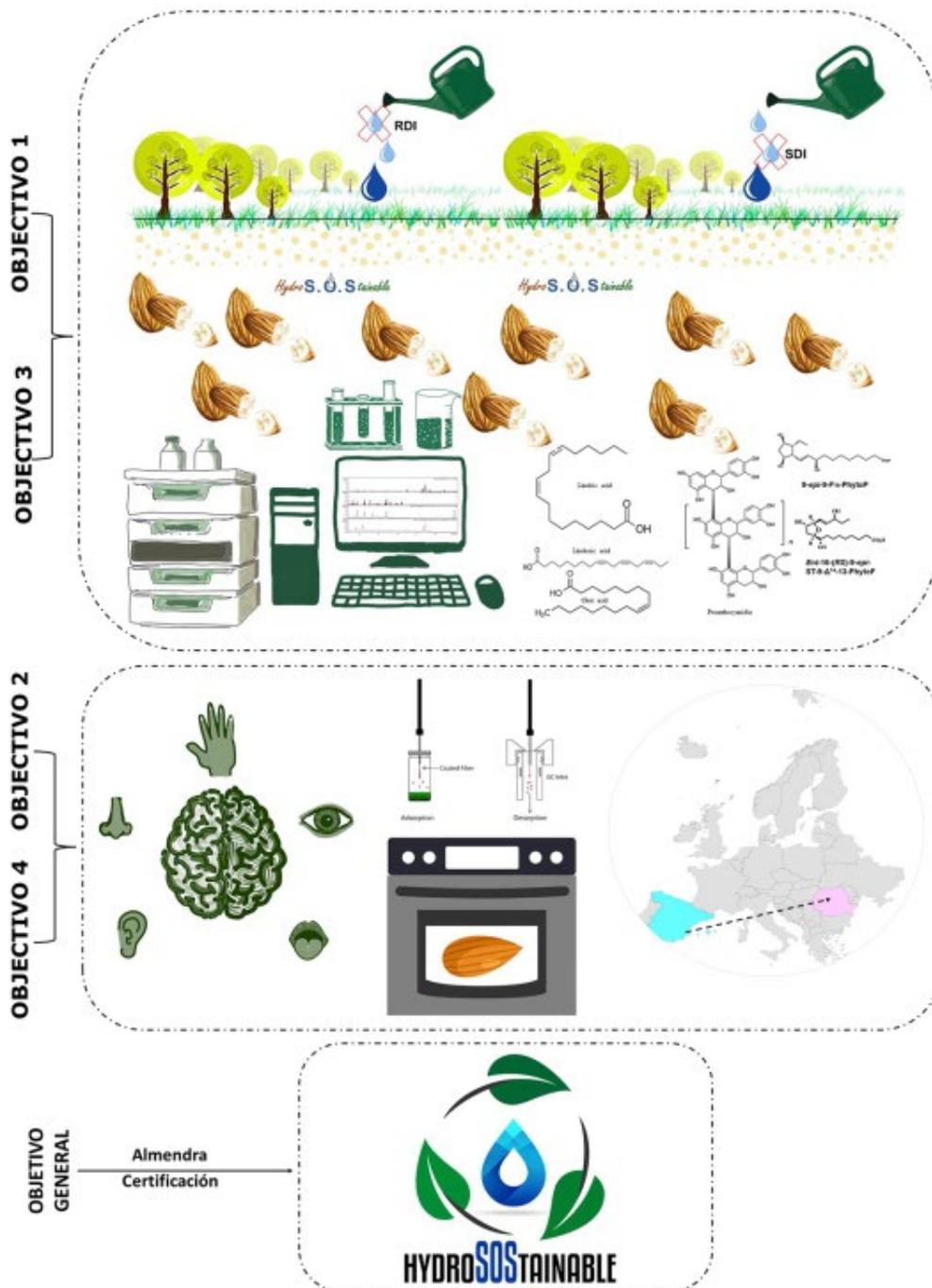


Figura 2. Visualización gráfica de los objetivos marcados.

En este sentido, los investigadores de la Universidad Miguel Hernández, Universidad de Sevilla e IRTA han estado estudiando el efecto de diferentes estrategias de RD en la calidad de la almendra (*Prunus dulcis* Mill. cv. Vairo), así como la evaluación del perfil sensorial y de la aceptación de los consumidores internacionales de las almendras hidroSOSTenibles (Figura 2). El concepto hidroSOSTenible es una marca registrada (M3647842(3) por la Oficina Española de Patentes y Marcas con el objetivo de proteger aquellas frutas y verduras cultivadas en condiciones de RD. Por lo tanto, una almendra hidroSOSTenible es aquella cultivada bajo estrategias de riego deficitario controlado, haciendo un uso eficiente del agua de riego en agricultura.

## Metodología

El estudio se llevó a cabo durante tres campañas consecutivas en una finca comercial 'La Florida' ubicada en Dos Hermanas, Sevilla, con árboles de 7 años de edad al comienzo del experimento (cv. Vairo en portainjertos GF-677) a un marco de plantación de 8 x 6 m, riego localizado y una pluviometría 366, 668 y 238 mm en 2017, 2018 y 2019, respectivamente (Martín-Palomo et al., 2022). Aquí se desarrollaron los siguientes tratamientos de riego (Figura 3): (i) tratamiento control (que cubre el 100% de la ET del cultivo), (ii) 2 tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) con un período de estrés hídrico durante el llenado del grano (con diferentes niveles de estrés dependiendo del potencial hídrico del tallo T2 = -1.5 MPa y T3 = -2.0 MPa) y condiciones de riego completas para el resto del año, y (iii) un riego deficitario sostenido (RDS) en el que se aplicó una menor cantidad de agua durante toda la temporada (T4).

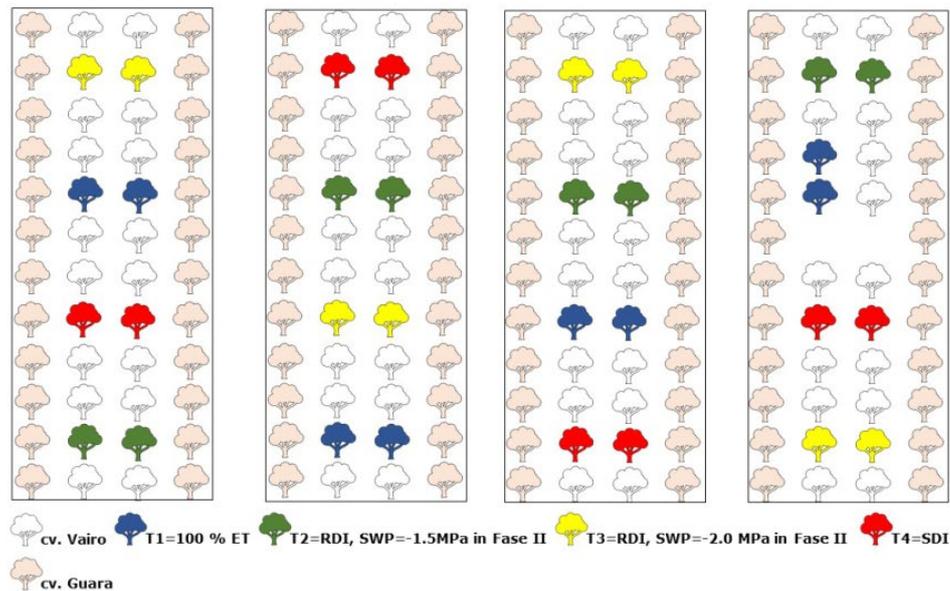


Figura 3. Diseño experimental (SWP=Potencial hídrico del tallo al mediodía).

Tras la cosecha se estudió la calidad de la almendra cruda y tostada realizando mediciones físicas, químicas y sensoriales, así como estudios de consumidores internacionales (Figura 4).



Figura 4. Mediciones cualitativas: A) físicas, B) composición química, C) minerales, D) ácidos orgánicos y azúcares, E) compuestos volátiles, F) análisis sensorial.

## Resultados

### Aspectos agronómicos

El agua aplicada y la producción de la almendra grano para cada tratamiento y año se muestran en la Figura 5. Los almendros del tratamiento control (T1) recibieron una media de 691 mm de agua en los 3 años, el RDC moderado (T2) 382 mm, mientras que el RDC severo (T3) y el RDS sostenido (T4) recibieron 114 mm (Figura 5 A).

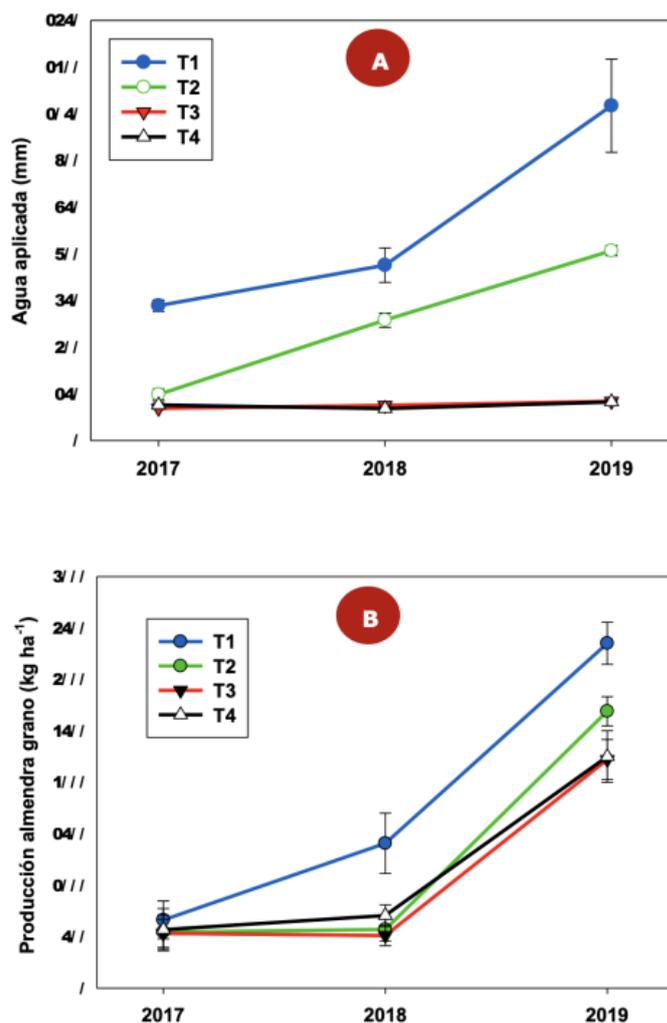


Figura 5. Aspectos agronómicos: A) agua aplicada, B) producción de almendra grano.

Las estrategias de RD no afectaron la producción (Figura 5 B) en grano en el primer año de tratamiento (T1=662 kg ha<sup>-1</sup>; T2=545 kg ha<sup>-1</sup>; T3=533 kg ha<sup>-1</sup>, T4=568 kg ha<sup>-1</sup>), pero sí en los próximos dos. Este fenómeno era esperado, debido a la sensibilidad en postcosecha al estrés hídrico (Lipan et al., 2019). Aunque en 2019 (T1=3352<sup>a</sup> kg ha<sup>-1</sup>; T2=2691<sup>ab</sup> kg ha<sup>-1</sup>; T3=2222<sup>b</sup> kg ha<sup>-1</sup>, T4=2251<sup>b</sup> kg ha<sup>-1</sup>) la reducción de la producción con respecto al tratamiento control fue menor que en 2018 (T1=1407<sup>a</sup> kg ha<sup>-1</sup>; T2=570<sup>b</sup> kg ha<sup>-1</sup>; T3=511<sup>b</sup> kg ha<sup>-1</sup>, T4=706<sup>b</sup> kg ha<sup>-1</sup>), concluyendo que un RD moderado puede llegar a producciones estadísticamente similares al control.

## Aspectos de calidad

Tras la primera campaña de riego deficitario los resultados mostraron que las almendras obtenidas bajo una estrategia de RD moderado (T2) se caracterizaron por un color más rojizo, mayor contenido de grasa (Figura 6 A), K (Figura 6 B), glucosa, contenido de fenoles totales, un mayor contenido de compuestos fenólicos y proantocianidinas individuales (Figura 6 C), un mayor grado de polimerización, actividad antioxidante, ácidos grasos insaturados y volátiles. Además, se observó un incremento destacable en el contenido de fitoprostanos (Figura 6 D) y fitofuranos (Figura 6 E), compuestos importantes por marcar el estrés oxidativo y por su capacidad de proteger las células de los efectos nocivos derivados del estrés oxidativo.

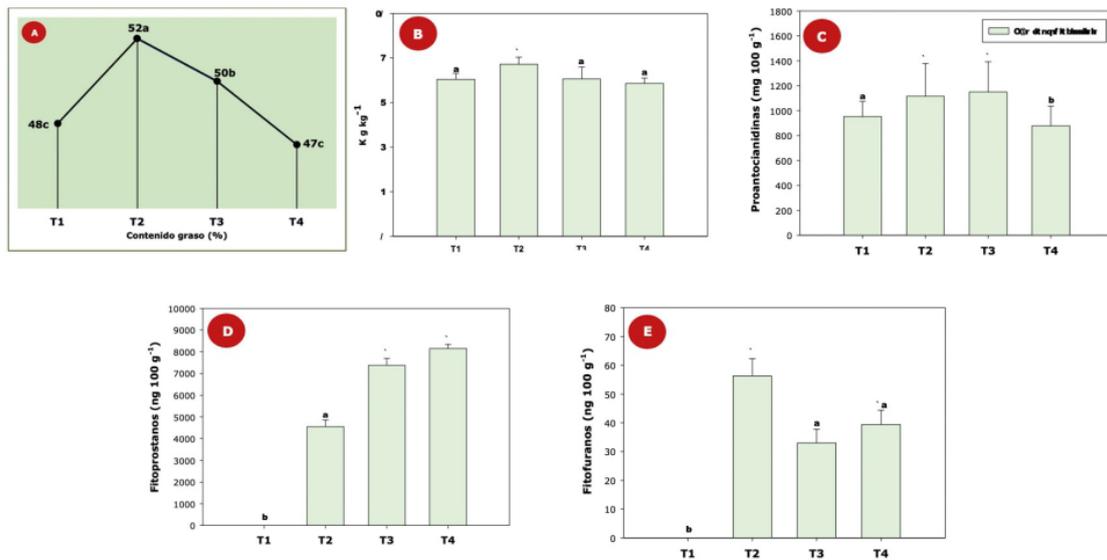


Figura 6. Composición química de la almendra: A) grasa, B) potasio, C) proantocianidinas, D) fitoprostanos, E) fitofuranos.

En cuanto al perfil sensorial, se observó que las almendras hidroSOSTenibles presentaban un color más intenso, mayor intensidad de dulzor y dureza, así como una mayor aceptación por parte de los consumidores españoles (Figura 7 A) y rumanos debido a su dulzor, sabor a almendras y crujibilidad. Además, se observó que la hidrosostenibilidad podría convertirse en un valor añadido para los agricultores debido a que los consumidores internacionales se mostraron dispuestos a pagar un precio más alto por las almendras hidroSOSTenibles (Figura 7 B), lo que significa mayores ingresos y beneficios para los agricultores.

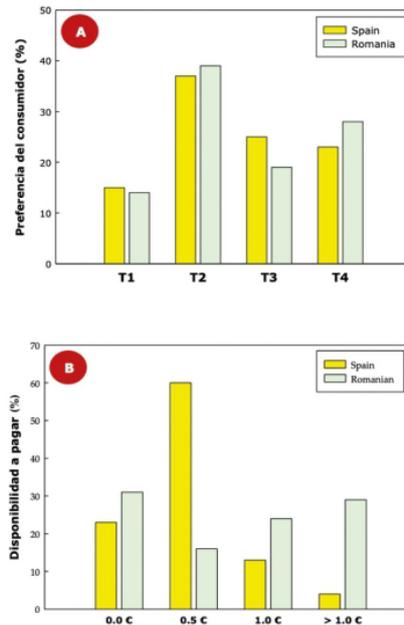


Figura 7. Análisis sensorial y estudio de consumidores: A) preferencia, B) disponibilidad a pagar por la almendra hidroSOstenible

Por otra parte, se pudo observar que el déficit hídrico acumulado a lo largo de las campañas del estudio afectaba significativamente a las características agronómicas y de calidad de las almendras hidroSOstenibles, que presentaron una correlación positiva con algunos parámetros tales como: coordenadas de color ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ), minerales (K, Fe y Zn), ácidos orgánicos (ácido cítrico), azúcares (sacarosa, fructosa y azúcares totales), actividad antioxidante y ácidos grasos (linoleico, PUFA, SFA, PUFA / MUFA, entre otros). Por lo contrario, el estrés hídrico mostró una correlación negativa con el rendimiento, la actividad del agua, el peso, el tamaño, algunos minerales (Ca y Mg), ácidos grasos (ácido oleico, relación oleico/linoleico, MUFA y PUFA / SFA) y atributos sensoriales (tamaño, amargor, astringencia, benzaldehído y amaderado).

Tras el proceso de tostado, se observó que un tratamiento térmico de 170 °C durante 10 min en un horno de convección eran las condiciones óptimas de tostado desde un punto de vista aromático (Figura 8 A), descriptivo y afectivo para las almendras de la variedad 'Vairo'. Además, el riego deficitario dio lugar a almendras con un mayor contenido de compuestos aromáticos (Figura 8 B), más dulces, más notas a almendra tostada y frutos secos (Figura 8 C) en comparación con el control.

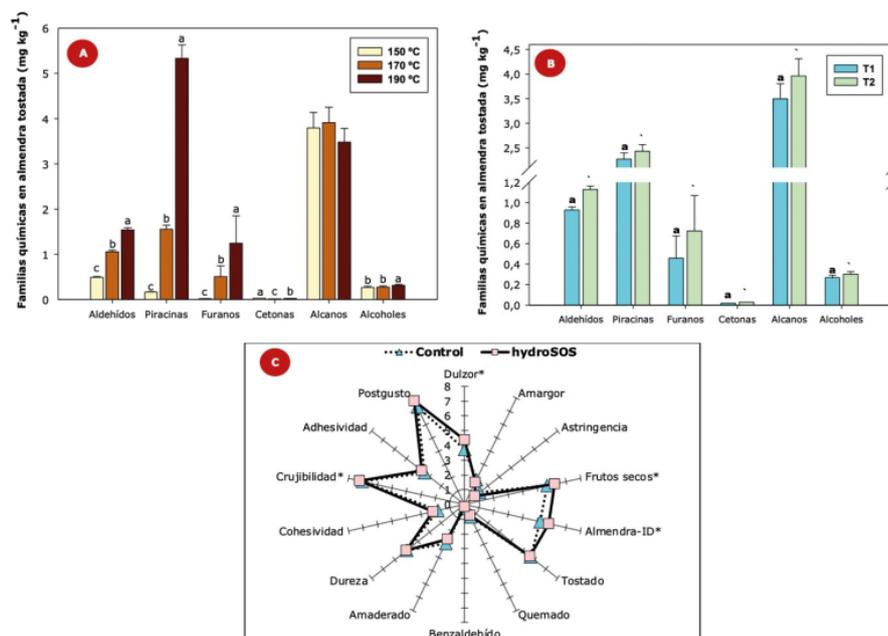


Figura 8. Familias químicas de compuestos volátiles y perfil sensorial de la almendra tostada: A) volátiles afectadas por la temperatura de tostado; B) volátiles afectados por el tipo de riego; C) perfil sensorial de la almendra tostada.

## Consideraciones finales

1. De acuerdo con las estrategias de riego estudiadas, se puede concluir que un estrés moderado durante el periodo de llenado de grano mejora sustancialmente la calidad de la almendra, manteniendo una producción adecuada y estadísticamente similar a la obtenida bajo dotaciones hídricas óptimas.
2. Así, esta estrategia permite incrementar la actividad antioxidante y los polifenoles, los compuestos volátiles, ácidos grasos polinsaturados, fitoprostanos y fitofuranos. Un riego deficitario moderado da lugar a almendras con mayor intensidad de color, sabor a almendra, dulzor, y textura crujiente; por tanto, todos estos atributos sensoriales ayudarán a tener una mayor aceptación por parte de los consumidores internacionales.
3. Además, los efectos del riego deficitario en la calidad de la almendra no se ciñeron tan sólo a la almendra cruda, sino también se mantuvieron tras el proceso de tostado. Las almendras hidroSOSTenibles tostadas resultaron ser más dulces, con una mayor intensidad aromática a almendra tostada, más crujientes, y con un mayor contenido de compuestos volátiles en comparación con las almendras procedentes de riego óptimo. Parámetros tales como coordenadas de color ( $L^*a^*b^*$ ), minerales (K, Fe, y Zn), azúcares (sacarosa y fructosa), actividad antioxidante (ABTS<sup>+</sup>, FRAP), ácidos grasos (oleico y linoleico), fitoprostanos, fitofuranos y atributos sensoriales (tamaño, amargor, benzaldehído y amaderado) pueden considerarse marcadores importantes para la detección del estrés hídrico y certificación de almendras hidroSOSTenibles.
4. Considerando una mayor predisposición por parte de los consumidores internacionales a pagar un precio más alto por un producto que ha sido obtenido siguiendo estrategias de sostenibilidad y conservación de los recursos hídricos,

las acciones del gobierno y de la industria podrían brindar información adecuada con respecto a los productos hidrosostenibles, promocionando la producción de alimentos que contribuyan a combatir la escasez de agua en el mundo. Mientras que el sector agrícola debería apostar por la producción de estos alimentos para ayudar a reducir la escasez de agua en el mundo.

5. Así, utilizando esta estrategia de riego deficitario controlado en un nivel moderado el sector agrícola puede ahorrar un 45% del agua de riego, obteniendo un producto de calidad diferenciada y amistoso con el medio ambiente.
6. En conjunto, estos resultados refuerzan la afirmación de que las estrategias de ahorro de agua en el cultivo de la almendra contribuyen positivamente en la obtención de un producto final de mayor calidad y con una mayor aceptación por parte de los consumidores. Es decir, ayudan a generar un valor añadido final que permitiría recuperar las pérdidas económicas provocadas por la implementación de estrategias de riego deficitario controlado y por las reducciones de rendimiento, ya que dan lugar a un producto con mayor competitividad y comerciabilidad.

## Referencias

Boletín Oficial del Estado BOE. (2015). Ley 28/2015, de 30 de julio, para la defensa de la calidad alimentaria. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-8563#:~:text=Ayuda->,

[Ley%2028%2F2015%2C%20de%2030%20de%20julio%2C%20para%20la,de%2031%2F07%2F2015.](https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-8563#:~:text=Ayuda-,Ley%2028%2F2015%2C%20de%2030%20de%20julio%2C%20para%20la,de%2031%2F07%2F2015.)

Dong, J., Gruda, N., Lam, S. K., Li, X., & Duan, Z. (2018). Effects of Elevated CO<sub>2</sub> on Nutritional Quality of Vegetables: A Review. *Front Plant Sci*, 9, 924. doi:10.3389/fpls.2018.00924

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2011). La Seguridad Alimentaria: Información para la toma de decisiones. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/sdg-6/es/>

Grunert, K. G., & Achmann, K. (2016). Consumer reactions to the use of EU quality labels on food products: A review of the literature. *Food Control*, 59, 178-187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.021>

Lipan, L., Martín-Palomo, M. J., Sánchez-Rodríguez, L., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Hernández, F., ... Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019). Almond fruit quality can be improved by means of deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*, 217, 236-242. doi:10.1016/j.agwat.2019.02.041

Martín-Palomo, M. J., Andreu, L., Pérez-López, D., Centeno, A., Galindo, A., Moriana, A., & Corell, M. (2022). Trunk growth rate frequencies as water stress indicator in almond trees. *Agricultural Water Management*, 271, 107765. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107765>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación MAPA. 2020. Denominaciones de Origen e Indicaciones Geográficas Protegidas, (2020). Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/dop-igp/>

Ziska, L. (2022). Rising Carbon Dioxide and Global Nutrition: Evidence and Action Needed. *Plants*, 11(7), 1000. doi:10.3390/plants11071000

#### **Financiación**

*Esta investigación fue financiada por el Gobierno de España (Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI), Agencia Estatal de Investigación (AEI), a través de un proyecto de investigación coordinado (hydroSOS) que incluye a la Universidad Miguel Hernández de Elche (AGL2016-75794-C4-1-R, Productos hydroSOStenibles: identificación de debilidades y fortalezas, optimización del procesamiento, creación de marca propia, y estudio de su aceptación en el mercado europeo, alimentos hydroSOS) y la Universidad de Sevilla (AGL2016-75794-C4-4-R); este proyecto también han sido financiados por Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) "Una manera de hacer Europa", (MCI/AEI/FEDER, UE). La autora Leontina Lipan tiene un contrato financiado por el Ministerio de Universidades y por la Unión Europea-Next Generation EU en el marco de las Ayudas para la Recualificación del Sistema Universitario Español, en la modalidad MARGATIRA SALAS.*