



Caso de estudio de economía circular: el desarrollo de un nuevo bioestimulante fisiológico a partir de sub-productos del olivar

Joaquín Romero¹, María Peñas-Corte², Juan Nieto³ y José R. Fernández-Navarro⁴

Autor de Correspondencia: jrfernandez@econatur.net

Resumen:

El cultivo del olivo (*Olea europaea*) es un motor socioeconómico en la cuenca mediterránea, con una notable expansión en los últimos años. Sus residuos representan una oportunidad para la transición a la bioeconomía. Los grandes volúmenes de agua empleados poseen una alta carga orgánica, con polifenoles como el hidroxitirosol (HT). Mediante nuevos procesos tecnológicos, ha sido posible su extracción y purificación y, por tanto, su empleo en diferentes industrias, como la agroalimentaria. Las propiedades antioxidantes y complejantes de los polifenoles, con incidencia en el equilibrio hormonal de los cultivos, le confieren un gran potencial de uso como insumos agrícolas. Como resultado se ha formulado e-OLIVE, un bioestimulante que i) apoya la eliminación de especies reactivas oxígeno (ROS) en situaciones de estrés hídrico y ii) actúa sobre el equilibrio hormonal del cultivo. En condiciones naturales, e-OLIVE ha incrementado la producción a través de una menor caída fisiológica y un superior peso de frutos, además de incrementar el rendimiento graso. Estos resultados se han alcanzado mediante una superior traslocación de nutrientes y la expresión de hormonas y reguladores hormonales como AIA, AS y ABA.

Palabras clave: bioestimulación, polifenoles, extracción, producción, rendimiento graso.

Circular economy case study: the development of a new physiological biostimulant from olive by-products

Joaquín Romero¹, María Peñas-Corte², Juan Nieto³ and José R. Fernández-Navarro⁴

Abstract:

Olive (*Olea europaea*) crop is a socio-economic driving force in the Mediterranean basin, with a notable expansion in recent years. Its waste represents an opportunity for the transition to a bioeconomy. The large volumes of water used have a high organic load, with polyphenols such as hydroxytyrosol (HT). New technological processes have made possible to extract and purify polyphenols, and thus to use them in different industries, such as the agri-food industry. The antioxidant and complexing properties of polyphenols, which have an impact on the hormonal balance of crops, give them a great potential for use as agricultural inputs. As a result, e-OLIVE has been formulated, a biostimulant that i) supports the elimination of reactive oxygen species (ROS) in situations of water stress and ii) acts on the hormonal balance of the crop. Under natural conditions, e-OLIVE has increased yield through less physiological drop and higher fruit weight, as well as increased fat yield. These results have been achieved through superior nutrient translocation and expression of hormones and hormone regulators such as AIA, AS and ABA.

Key Words: biostimulation, polyphenols, extraction, production, fat yield, fat production.

¹ BIOPHARMA RESEARCH (GRUPO ECONATUR). Córdoba (España). jromero@econatur.net; 0000-0002-6355-5084.

² BIOPHARMA RESEARCH (GRUPO ECONATUR). Córdoba (España). mpenas@econatur.net;

³ LABORATORIOS ECONATUR, SL. Córdoba (España). jnieto@econatur.net;

⁴ BIOPHARMA RESEARCH (GRUPO ECONATUR). Córdoba (España). jrfernandez@econatur.net

1. INTRODUCCIÓN

El olivo (*Olea europaea*) es uno de los cultivos mediterráneos de mayor importancia, habiendo sido domesticado durante miles de años (Besnard et al., 2018). España es el mayor exportador de aceite de oliva, con una superficie de olivar de 2,8 millones de hectáreas (MAPA, 2023). En Andalucía es el principal cultivo, con 1,65 millones de hectáreas (40% de superficie agraria útil) y una producción que supone más del 30% del valor de la producción vegetal andaluza, con la obtención de una cuarta parte de la producción mundial de aceite de oliva virgen (Polonio et al., 2022). Estos datos se han alcanzado a través de un incremento de superficie y de intensificación del cultivo durante las últimas décadas, que ha derivado en un incremento de subproductos en fase agrícola e industrial que apenas ha sido rentabilizado (Berbel & Posadillo, 2018, Polonio et al., 2022). Estos residuos representan una oportunidad de aplicación de los principios de bioeconomía circular (Borrego-Marín et al., 2021), aportando una segunda vida a subproductos biológicos que ponen en riesgo el entorno medioambiental y que muestran una composición bioquímica de interés agrícola.

1.1 Oportunidades de bioeconomía circular asociada al cultivo del olivo

El uso de desechos del olivar para la elaboración de otros productos puede contribuir a la generación de nuevas cadenas de valor y con ello establecer oportunidades para el desarrollo económico y la cohesión territorial del medio rural, suponiendo una estrategia de retorno económico a cooperativas y agricultores. La evaluación del flujo de materias primas y subproductos que se producen como resultado de los usos existentes constituye la base de conocimiento que puede permitir mejorar aún más la eficiencia del modelo de utilización en cascada actual, en el que todavía existen opciones para la obtención de nuevos bioproductos de alto valor añadido a partir de estos subproductos. Este proceso productivo se caracteriza por generar grandes volúmenes de agua con alta carga orgánica que incluye fenoles, ácidos grasos y gran contenido de sólidos en suspensión.

En las industrias de aderezo de aceitunas de mesa, la principal fuente de contaminación ambiental es producida por los vertidos de efluentes líquidos,

como en la mayoría de las industrias agroalimentarias (El-Abbassi et al., 2014). Resultan grandes volúmenes con un contenido de materia orgánica poco biodegradable, con pH frecuentemente extremo y grasas y sólidos en suspensión. Además, constan de un alto contenido salino y se encuentran fuertemente coloreadas por los polifenoles que forman parte de los frutos. Desde el punto de vista económico, estas aguas procedentes de la industria de aderezo son una fuente valiosa de moléculas que incluyen nutrientes vegetales, antocianinas, flavonoides, polisacáridos y varios compuestos fenólicos, pero estos últimos siendo difíciles de degradar y que poseen carácter fitotóxico en un alto volumen de agua (Segovia-Bravo et al., 2007, Tuna & Akpiar-bayiziti, 2009). Sin embargo, a su favor y en concentraciones controladas, poseen posibles aplicaciones industriales como fertilizantes, antioxidantes, antifúngicos y fármacos antibacterianos, agentes citoprotectores, gelificantes, reguladores del crecimiento de las plantas y quelantes de iones metálicos, etc. (Bujor et al., 2015). Algunos polifenoles, como el hidroxitirosol (HT) tienen un gran valor añadido en las industrias farmacéutica, agroalimentaria y cosmética (De Marco et al., 2007), por lo que un análisis detallado en la recuperación del mismo favorecería a estos sectores.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN

2.1 Componentes fenólicos de interés en el cultivo del olivo

Los compuestos fenólicos se encuentran en todos los órganos de las plantas y, en base a su estructura, tienen diferentes funciones (Mojzer et al., 2016). La distribución de estos compuestos a nivel tisular y celular no es homogénea. Por lo general, los compuestos fenólicos totalmente insolubles se encuentran en las paredes celulares, mientras que los de naturaleza poco soluble se encuentran en las vacuolas (Tanase et al., 2019). Con incidencia en el metabolismo secundario de las plantas por inhibición de la peroxidación lipídica, los fenoles son también esenciales para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas (Tanase et al., 2019).

La oleuropeína es el fenol presente en mayor proporción en las aceitunas, que junto con otros compuestos polifenólicos puede ser hidrolizado a lo largo de un proceso de fermentación, originando tirosol y HT, con altas características

antioxidantes (Cornwell et al., 2008; Peyrol et al., 2015). El HT es un polifenol anfipático que se encuentra en hojas y frutos, tanto de forma libre como ligada, así como en el aceite de oliva y subproductos de la fabricación del aceite de oliva (Silva et al., 2020). Se considera una de las moléculas bioactivas con mayor capacidad antioxidante y con las propiedades más potentes de eliminación de especies reactivas de oxígeno (ROS) in vivo e in vitro (Bermúdez-Oria et al., 2020). Yanguí et al. (2011) observaron, mediante la actividad DPPH (i.e. método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo, Guija-Poma et al., 2015) cómo la aplicación exógena de HT en semillas de tomate estimuló el desarrollo posterior de las plántulas, además de apoyar una sobreexpresión del contenido polifenólico en el cultivo hasta 20 días después y una mayor actividad antioxidante. Esta fue debida a una actividad superior de determinadas enzimas, como la G6PDH (glucosa-6-glucosa-6-fosfato deshidrogenasa), GPX (guayacol peroxidasa) y CAT (catalasa). Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por García-Sánchez et al. (2012), en los que se encontró actividad frente a valores de ROS elevados, en respuesta (bajo estrés oxidativo inducido) al tratamiento con un extracto acuoso biorremediador procedente del residuo seco de almazara, que contiene compuestos fenólicos, entre los que se encuentra el HT. Esta actividad antioxidante se asoció con la actividad de SOD (superóxido dismutasa), GR (glutación reductasa) y GST (Glutación S transferasa), encargadas de la eliminación de niveles altos de O_2 y H_2O_2 .

Otros estudios han demostrado que los bioestimulantes vegetales basados en subproductos del olivo, si se aplican a bajas concentraciones, son capaces de desencadenar eficazmente respuestas metabólicas y fisiológicas positivas en las plantas (Drobek et al., 2019; Sciubba et al., 2020). De esta forma, podemos concluir que el hidroxitirosol aplicado de forma exógena permite un incremento positivo de la respuesta a la oxidación que se produce de forma natural en las plantas.

2.2 Antecedentes de éxito: extractos botánicos mediante tecnología ept®

BIOPHARMA RESEARCH, perteneciente al grupo ECONATUR, es una empresa de biotecnología agrícola que promueve un modelo de agricultura sostenible y de alto valor añadido para el agricultor. Localizada en La Carlota (Córdoba, España), ECONATUR formula y comercializa insumos basados en la química

natural, con la sostenibilidad medioambiental y la producción y rentabilidad agrícola como objetivos de necesario cumplimiento. Fruto de esta filosofía, ECONATUR ha desarrollado una tecnología propia de extracción de principios activos con una alta capacidad bioestimulante, incidiendo en el metabolismo primario y secundario de los cultivos. La tecnología ept® (econatur polyphenol technology®), patentada por ECONATUR, obtiene unos componentes naturales y con gran bioactividad procedentes de subproductos de la actividad agrícola.

La tecnología ept® es la base de los bioestimulantes de ECONATUR, consiguiendo una elevada concentración de ácidos hidroxibenzoicos. Estos componentes destacan por una alta capacidad antioxidante a través de la activación enzimática de SOD, GR (Glutation Reductase) y APX (Ascorbate Peroxidase) (Tadeo & Gómez-Cadenas, 2013). Por esta vía se facilita la eliminación de las ROS, causantes de una evidente clorosis y necrosis de tejidos vegetales, síntomas del envejecimiento y muerte celular (Quero, 2022). Las ROS, entre las que se encuentra el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y los radicales superóxido (O_2^-) se producen en cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. Su sobreacumulación provoca daños celulares irreversibles a través de la destrucción de ácidos nucleicos, proteínas y lípidos elementales (Faroq et al., 2019; Sharma et al., 2019). Gracias a la elicitación enzimática para la eliminación de las ROS, la planta puede destinar su energía al desempeño de sus principales funciones fisiológicas (e.g. la fase sexual, caracterizada por la fructificación) en lugar del sistema de defensa antioxidante en situaciones de estrés. Los ácidos hidroxibenzoicos son acompañados por otros polifenoles, precursores de fitoalexinas para la promoción de respuestas de Resistencia Sistémica Adquirida (RSA) ante situaciones de estrés biótico, y por polialcoholes responsables de la movilización vascular de nutrientes y el incremento del flujo sistémico en la planta. Como balance, todas estas actividades repercuten en una superior expresión de hormonas claves en los cultivos, como el ácido indol-acético (AIA) y el ácido salicílico (AS). Estas hormonas vegetales son las responsables de múltiples tareas fisiológicas del metabolismo primario y secundario. AIA, también denominada auxina (del griego: hacer crecer, incrementar) fue la primera hormona descubierta, y está implicada en múltiples procesos de desarrollo vegetativo (Acosta-Echeverría et al., 2013). Por su parte, el AS transmite la señal

de infección por patógenos mediante una ruta de proteínas que contribuyen a la resistencia del cultivo (Tadeo & Gómez-Cadenas, 2013).

2.3 Bioestimulación en cultivos leñosos bajo el contexto de cambio climático

Las plantas son organismos sésiles, que no pueden evadir las condiciones adversas en las que viven. Consecuentemente, deben adaptar continuamente su crecimiento y metabolismo a las condiciones cambiantes del ambiente. La variabilidad ambiental puede deberse a factores bióticos (como plagas y enfermedades) y/o a factores abióticos, como sequía, salinidad, déficit nutricional, exceso de metales pesados o temperaturas extremas. La plantación de cultivos leñosos supone una alta inversión con una expectativa de retorno a largo plazo, siendo vital la correcta implantación y óptimo desarrollo productivo de la plantación en el entorno edafoclimático en el que se encuentra.

Ante un escenario futuro de elevación de temperaturas y escasez de lluvias, con precipitaciones esporádicas y torrenciales que dificultan su aprovechamiento, las situaciones de estrés hídrico y climático podrán verse acentuadas (Rius, 2022). Incluso cultivos con importantes adaptaciones morfológicas y fisiológicas frente al estrés hídrico, como el olivo, se ven afectados en etapas sensibles como la floración, cuajado y acumulación de aceites (Pierantozzi et al., 2013), además de en aspectos claves de la producción en futuros años (i.e. desarrollo de brotes y número de flores del año siguiente, Barranco et al., 2017).

Los bioestimulantes, por tanto, pueden representar una herramienta de apoyo en la gestión de cultivos leñosos en situaciones de estrés térmico y salino. El mercado de los bioestimulantes muestra una tasa de crecimiento anual del 11,2%, con un pronóstico de mercado de alrededor de 5 billones de dólares en 2025 (García-Morales et al., 2021). Para su adecuación al uso en cultivos leñosos en un contexto de cambio climático, es trascendental que el modo de acción del bioestimulante incida en los daños causados por el estrés térmico y salino. Para ello, el óptimo balance hormonal y la lucha contra la acumulación de las ROS es clave para maximizar la capacidad productiva en un entorno agronómico adverso. En base a estos preceptos, se estudió la integración de la tecnología ept® junto a las propiedades antioxidantes del HT para obtener una formulación bioestimulante, denominada e-OLIVE. Este producto fue evaluado

en condiciones controladas y naturales para determinar su eficacia agronómica y su modo de acción por actividad enzimática y hormonal.

3. RESULTADOS

El efecto de e-OLIVE sobre tomate (var. Micro-tom) fue evaluado a diferentes dosis en cámara de cultivo (ARALAB, con temperatura de 25°C y fotoperiodo 16/8). Las plantas fueron mantenidas con una solución nutritiva, con turba como sustrato y aplicando un riego deficitario. Fue empleado un bioestimulante comercial, a base de aminoácidos y ampliamente empleado en cultivos hortícolas y leñosos, como control positivo. Las aplicaciones foliares de e-OLIVE se realizaron con diluciones de 0,3, 0,6 y 1,2 ml/l, empleándose la dosis recomendada en el control positivo (3 g/l) y la pulverización de agua como control negativo. El ensayo constó de dos bloques de plantas de tomate (en estado de desarrollo vegetativo y en inicio de floración), con cuatro repeticiones por bloque y tratamiento. Se realizaron dos aplicaciones foliares de los tratamientos evaluados, con 12 días entre ellas. Las evaluaciones, realizadas a los 0, 12 y 24 días de inicio del experimento, consistieron en el conteo de flores y frutos y la determinación del estrés oxidativo a través de la determinación de las ROS a nivel foliar (Herzog & Fahimi, 1973).

El desarrollo vegetativo fue notablemente superior en los dos bloques de plantas (Fig. 1). El número de frutos fue notablemente superior respecto a los tratamientos Control, particularmente a las dos dosis inferiores (Fig. 2). Estos resultados están relacionados con la menor acumulación de H₂O₂ observada en los tejidos foliares (Fig. 3).

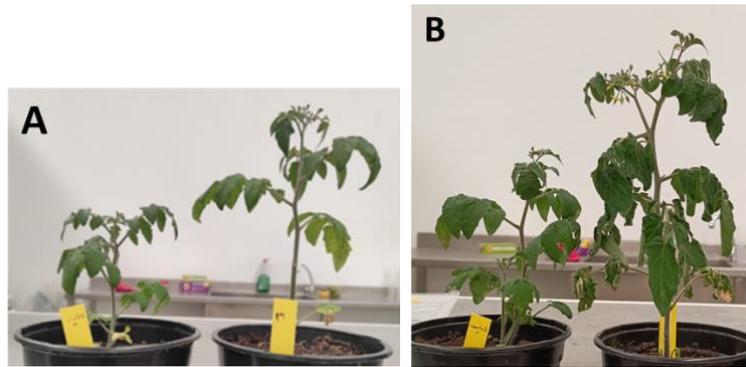


Figura 1. Desarrollo vegetativo en el bloque I (A) y II (B) de e-OLIVE (derecha) respecto al control negativo (izquierda). **Fuente:** Elaboración propia

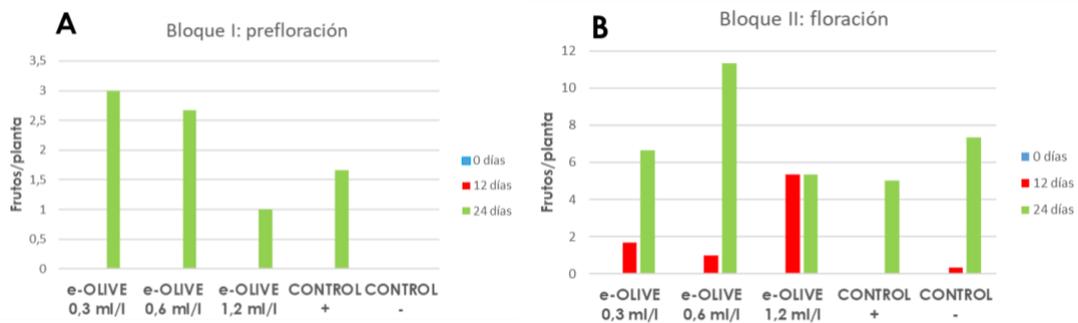


Figura 2. Desarrollo de frutos (tomate) por planta en los bloques I (A) y II (B). **Fuente:** Elaboración propia

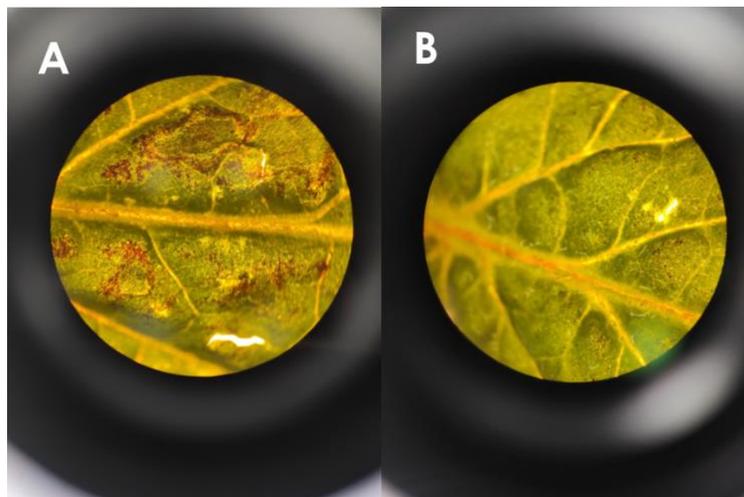


Figura 3. Acumulación de peróxido de hidrógeno (especies reactivas de oxígeno) en tejidos sometidos a estrés hídrico en el tratamiento Control (A) y e-OLIVE (B). **Fuente:** Elaboración propia

3.2. Eficacia agronómica: olivo y almendro como caso de estudio

Durante las campañas 2021 y 2022 se realizaron ensayos en condiciones naturales sobre olivar (cv. Hojiblanca, años 2021 y 2022) y almendro (cv. Lauranne, 2022) con riego deficitario. Fue evaluada la acción de e-OLIVE en diferentes fechas de aplicación, añadiendo el producto a los insumos ya empleados en el manejo habitual de la finca (Control). En el caso de emplearse productos bioestimulantes, estos fueron eliminados del área de tratamiento con e-OLIVE.

Los ensayos en olivar se situaron en Villanueva de Algaidas (Málaga, España), sobre una plantación adulta (25 años) en un marco de plantación de 8x6 m, con aplicaciones a un volumen de caldo de 1000 l/ha. En 2021, con la aceituna destinada a verdeo, se realizaron dos aplicaciones con inclusión de e-OLIVE (0,75 ml/l) en BBCH 71-75. En esta campaña, se observó un incremento productivo del 36,9% al elevar el peso de los frutos de 2,7 a 3,7 g/fruto (Fig. 4). En 2022 (e.g. un año con unas condiciones más severas de estrés hídrico), los ensayos fueron ampliados al destinar el fruto a producción de aceite. En este caso se realizaron tres aplicaciones (BBCH-71-80). Se realizaron análisis foliares en julio y septiembre, con incrementos positivos de todos los macro y micronutrientes con el tratamiento de e-OLIVE en la segunda fecha de análisis (BBCH 85). En este sentido, destacó el incremento de concentración de K (+31,6%), Ca (29,6%), Mg (40,4%), Fe (13,7%) y Cu (12,5%). También en septiembre, se observó una incidencia de arrugamiento un 91,4% inferior en la muestra de frutos procedente del área de aplicación de e-OLIVE (Fig. 5), además de una elevación de rendimiento graso superior a 1 punto (Fig. 6) En fecha de cosecha (noviembre, BBCH 89) se mantuvo ese incremento próximo a un punto añadido de rendimiento graso (Fig. 6). En este caso, el peso de los frutos se mantuvo constante debido al superior número de frutos presentes (mayor carga) en el área de aplicación de e-OLIVE debido a un menor arrugamiento y, finalmente, inferior caída fisiológica.

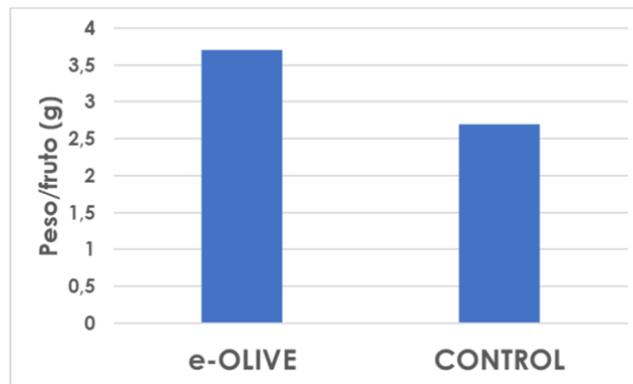


Figura 4. Peso medio de aceitunas con la estrategia de bioestimulación fisiológica (e-OLIVE) respecto al Control. **Fuente:** Elaboración propia



Figura 5. Aspecto visual de aceitunas tras un período estival de altas temperaturas y estrés hídrico. **Fuente:** Elaboración propia

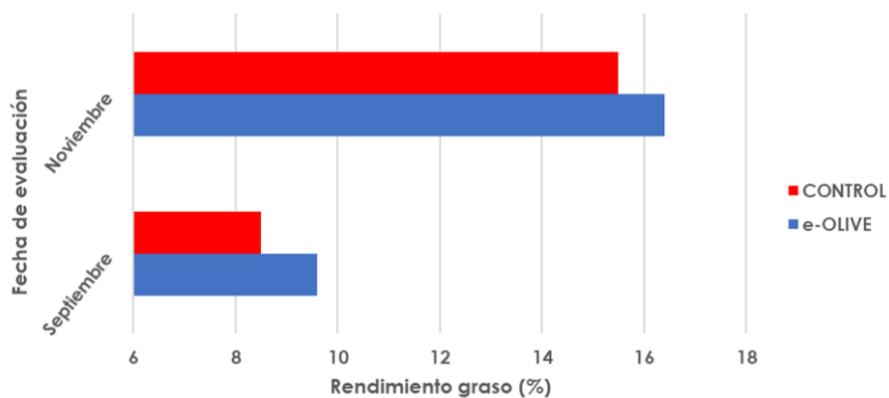


Figura 6. Rendimiento graso obtenido en Septiembre y Noviembre con la estrategia de bioestimulación fisiológica (e-OLIVE) respecto al Control. **Fuente:** Elaboración propia

En las plantaciones de almendro, localizadas en La Rambla (Córdoba, España), el trabajo se experimental se realizó sobre una plantación joven aún sin entrar en producción (3 años) y en una plantación adulta (10 años), en ambos casos con un marco de plantación de 7x6 m. Con volúmenes de caldo aplicados de 750 y 1000 l/ha, respectivamente, se empleó una dilución de e-OLIVE de 0,75 ml/l en dos aplicaciones (BBCH 72-81). Solamente se realizó el análisis foliar de julio (BBCH-84), puesto que la cosecha (BBCH-90) se realizó a finales de agosto. En la plantación joven se observaron valores superiores en 8 de los 10 macro y micronutrientes analizados. Destacó el incremento de Cu (+131,5%), que pudo estar relacionado con la menor incidencia observada de mancha ocre (causada por *Polystigma amygdalinum*) en el área tratada con e-OLIVE. En la parcela adulta se observaron menos diferencias a nivel nutricional, solo destacando el incremento significativo de P (+21,6%). Sin embargo, a nivel productivo se observó un notable adelanto fenológico, con una apertura del exocarpo notablemente superior, que permitía la extracción de la almendra (Fig. 7). Esta impresión se vio complementada por un superior peso de la almendra, elevándose un 52,4% con el uso de e-OLIVE (Fig. 8).



Figura 7. Apertura del exocarpo en área de aplicación de e-OLIVE respecto al Control, obteniendo un estadio fenológico más avanzado. **Fuente:** Elaboración propia

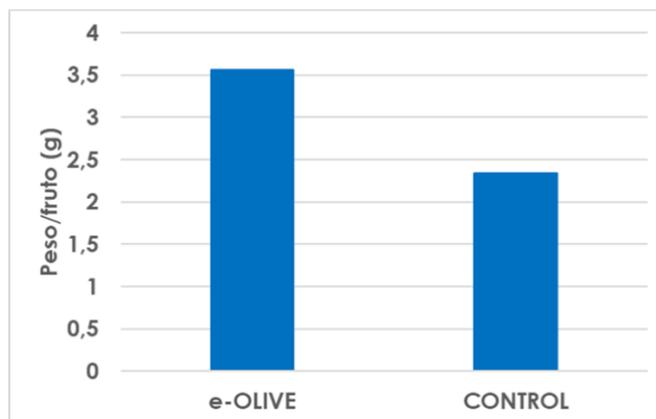


Figura 8. Peso medio de la almendra con la estrategia de bioestimulación fisiológica (e-OLIVE) respecto al Control. **Fuente:** Elaboración propia

4. DISCUSIÓN / CONCLUSIONES

En el presente trabajo se citan las bases científicas de desarrollo de un bioestimulante circular a partir del uso de dos tecnologías propias de extracción (tecnología ept® y tecnología extractiva de HT), con una demostrada eficacia en cultivos leñosos. A partir de revalorizar subproductos del olivo, se ha obtenido un formulado altamente antioxidante que proporciona una actividad fisiológica clave en un contexto de cambio climático. De este modo, se han observado incrementos productivos en situaciones de estrés térmico e hídrico en condiciones de altas temperaturas (e.g. ensayos en las provincias de Córdoba y Málaga).

Se ha observado un efecto complejante de nutrientes. En este sentido, hay referencias a la acción quelante de diferentes polifenoles sobre minerales, entre ellos el HT (Tanase et al., 2019). Para la salud humana, el HT ha sido reportado como complejante del Fe, disminuyendo la aparición de las ROS derivadas de reacciones asociadas con este metal (Karim-Ruiz, 2016). A su vez, el HT puede estar implicado en la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} , forma más asimilable sin coste energético para la planta (Andjelkovic et al., 2006). Las plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas excretan agentes reductores (como compuestos fenólicos) para la obtención de hierro asimilable. A este respecto, existen diferentes teorías sobre la forma de reducción del hierro por parte de ácidos polifenólicos (Stevenson, 1994). Respecto a otros nutrientes, la concentración notablemente superior de diferentes nutrientes tiene un impacto en situaciones de estrés hídrico y térmico. El magnesio es clave en situaciones

de alta radiación para evitar la clorosis y aparición de las ROS (Bonilla, 2013). El potasio y el calcio están implicados en la regulación de apertura estomática y rigidez de membranas para regular el flujo hídrico y las quemaduras solares. Ambos elementos favorecen la división celular en situaciones de desarrollo de frutos (Bonilla, 2013). Estos factores nutricionales, junto a la activación enzimática para la eliminación de las ROS, son elementos clave en la eficacia de e-OLIVE a través de su composición polifenólica. Sin embargo, el balance hormonal del cultivo puede estar implicado en los resultados obtenidos. En este sentido, el ácido abscísico (ABA) ha llegado a ser observado en una concentración 2,5 veces superior en ensayos internos de desarrollo de producto con aplicación de e-OLIVE (Fernández-Navarro, no publicado). El ABA es un regulador hormonal que apoya a la retención de agua durante períodos secos mediante el control del cierre estomático, limitando la pérdida por evapotranspiración. Su aplicación exógena suele ser menos eficaz que la propia concentración inducida, posiblemente porque no se dirige indiscriminadamente a todos los receptores de ABA (Yang et al., 2019; Lozano-Juste et al., 2023). Futuras investigaciones se llevarán a cabo para conocer los factores implicados en la regulación del ABA y en la activación de mecanismos de defensa frente a ataques de origen biótico, que podría estar relacionado con la generación de fitoalexinas por activación de la ruta de AS y por la propia eliminación de las ROS (Quero, 2022; Tadeo & Gómez-Cadenas, 2013).

AGRADECIMIENTOS

Parte de los ensayos presentados en este artículo se han desarrollado en el marco del proyecto FOOD4STROKE, "Desarrollo de alimentos con efecto neuroprotector para fomentar un envejecimiento activo de la sociedad", financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación dentro del Programa Estratégico de Consorcios de Investigación Empresarial Nacional (CIEN).

Los ensayos de campo se han realizado en colaboración con DCOOP S. C. A.

REFERENCIAS

- ACOSTA-ECHEVERRÍA, M., SÁNCHEZ-BRAVO, J., BAÑÓN-ARNAO, M. (2013). Auxinas. En J. Azcón-Bieto, j., & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 377-398). McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L.
- ANDJELKOVIC, M., VAN CAMP, J., DE MEULENAER, B., DEPAEMELAERE, G., SOCACIU, C., VERLOO, M. AND VERHE, R. (2006) Iron-Chelation Properties of Phenolic Acids Bearing Catechol and Galloyl Groups. *Food Chemistry*, 98, 23-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.044>
- BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., RALLO, L. (2017). *El cultivo del olivo*. Madrid. Mundi-Prensa
- BERBEL, J., & POSADILLO, A. (2018). Review and analysis of alternatives for the valorisation of agro-industrial olive oil by-products. *Sustainability*, 10(1),237. doi: <https://doi.org/10.3390/su10010237>.
- BERMÚDEZ-ORIA, A., BOUCHAL, Y., FERNÁNDEZ-PRIOR, Á., VIOQUE, B., FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J. (2020). Strawberry Puree Functionalized with Natural Hydroxytyrosol: Effects on Vitamin C and Antioxidant Activity. *Molecules*. 10:5829.
- BESNARD, G., TERRAL, J. F., CORNILLE, A. (2018). On the Origins and Domestication of the Olive: A Review and Perspectives. *Annals of Botany*. 121, 385–403. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcy002>
- BONILLA, I (2013). Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. En J. Azcón-Bieto, j., & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 103-121). McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L.
- BORREGO-MARÍN, M.M., BERBEL, J., GÓMEZ-LIMÓN, J.A., VILLANUEVA, A.J. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el desarrollo empresarial de la Bioeconomía Circular. Análisis empírico para el caso de Andalucía. *International Journal of Circular and Sustainable Bioeconomy*. 2, 19–36. doi: <https://doi.org/10.21071/c3b.vi2>

- BUJOR, O.C., TALMACIU, A., POPA, V.I. (2015). Biorefining to recover aromatic compounds with biological properties. *TAPPI Journal*. 14, 187–193.
- CORNWELL, G. D., & MA, J. (2008). Nutritional benefits of olive oil: The biological effects of hydroxytyrosol and its arylating quinone adducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 8774–8786
- DE MARCO, E., SAVARESE, M., PADUANO, A., SACCHI, R. (2007). Characterization and fractionation of phenolic compounds. *Food Chemistry*, 104, 858-867.
- DROBEK, M., FRAÇ, M., CYBULSKA, J. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Agronomy*. 9: 335
- EL-ABBASSI, A., KIAI, H., RAITI, J., HAFIDI, A. (2014). Cloud point extraction of phenolic compounds from pretreated olive mill wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2, 1480-1486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.06.024>
- FAROQ, M.A., NIAZI, A.K., AKHTAR, J., FAROOQ, M., SOURI, Z., KARIMI, N., RENGEL, Z. (2013). Acquiring control: The evolution of ROS-Induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 141, 353-369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.039>.
- GARCÍA-MORALES, S., GARCÍA-GAYTÁN, V., LEÓN-MORALES, J. M. (2021). Current Overview of Agricultural Biostimulants. *Tópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola*, 14.
- GARCÍA-SÁNCHEZ, M., GARRIDO, I., CASIMIRO, I. DE J., CASERO, P. J., ESPINOSA, F., GARCÍA-ROMERA, I., ARANDA, E (2012). Defence response of tomato seedlings to oxidative stress induced by phenolic compounds from dry olive mill residue. *Chemosphere*. 89: 708–716
- GUIJA-POMA, E., INOCENTE-CAMONES, M.A., PONCE-PARDO, J., ZARZOSA-NORABUENA, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo

- (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*. 15, 57-60.
- HERZOG, V., FAHIMI, H.D. (1973). A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3,3'-diaminobenzidine as hydrogen donor. *Analytical Biochemistry*. 55, 554-562. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(73\)90144-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(73)90144-9)
- KARIM-RUIZ, M.A. (2016). Efecto de hidroxitirosol sobre algunos biomarcadores cardiovasculares en la Diabetes Mellitus experimental. Málaga. Tesis Doctoral.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) (2023). Aceite de oliva. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx> (consultado el 12 de junio de 2023).
- MOJZER, E.B., HRNCIC, M.K., SKERGET, M., KNEZ, Z., BREN, U. (2016). Polyphenols: extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules*. 21: 901–939.
- PEYROL, J., MEYER, G., DESROIS, M., BERNARD, M., OBERT, P., DANGLES, O., PECHERE, L., AMIOT-CARLIN, M.J., RIVA, C. (2015). Effect of polyphenols of olive oil, hydroxytyrosol and its glucuronides on the vascular reactivity in a type 2 diabetes context. *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements*. 7, 137-138.
- PIERANTOZZI, P., TORRES, M., BODOIRA, R., MAESTRI, D (2013). Water relations, biochemical – physiological and yield responses of olive trees (*Olea europaea* L. cvs. Arbequina and Manzanilla) under drought stress during the pre-flowering and flowering period. *Agricultural Water Management*. 125, 13-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.003>
- POLONIO, D., VILLANUEVA, A.J., GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2022). Cuantificación de los recursos biomásicos del sector oleícola en Andalucía: una aproximación actualizada. *International Journal of Circular and*

Sustainable Bioeconomy. 3, 7–34. doi:
<https://doi.org/10.1093/aob/mcy002>

RIUS, X. (2022). Aspectos del cambio climático en olivar. *Fruticultura*. 85: 58-71.

QUERO, M. (2022). *Efectos de bioestimulantes sobre el Sistema antioxidante de Solanum lycopersium cv. Micro-tom*. Universidad de Sevilla.

SCIUBBA, F., CHRONOPOULOU, L., PIZZICHINI, D., LIONETTI, V., FONTANA, C., AROMOLO, R., SOCCIARELLI, S., GAMBELLI, L., BARTOLACCI, B., FINOTTI, E., BENEDETTI, A., MICCHELI, A., NERI, U., PALOCCI, C., BELLINCAMPI, D. (2020). *Olive Mill Wastes: A Source of Bioactive Molecules for Plant Growth and Protection against Pathogens*. *Biology*. 9: 450.

SEGOVIA-BRAVO, K.A., GARCÍA-GARCÍA, A., LÓPEZ-LÓPEZ, A., GARRIDO-FERNÁNDEZ, A. (2011). Characterization of polyphenol oxidase from the Manzanilla cultivar (*Olea europaea pomiformis*) and prevention of browning reactions in bruised olive fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55, 6515-6520. doi: <http://dx.doi.org/10.1021/jf063675f>

SHARMA, A.K., SINGH, H., CHAKRAPANI, H. (2019). Photocontrolled endogenous reactive oxygen species (ROS) generation. *Chemical Communications*. 55, 5259-5262. doi: <https://doi.org/10.1039/C9CC01747J>

SILVA, A.F.R., RESENDE, D., MONTEIRO, M., COIMBRA, M.A., SILVA, A.M.S., CARDOSO, S.M. (2020). Application of Hydroxytyrosol in the Functional Foods Field: From Ingredient to Dietary Supplements. *Antioxidants*. 9, 1246

STEVENSON, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. New York. Wiley and Sons.

TADEO, F.R., & GOMEZ-CADENAS, A. (2013). Fisiología de las plantas y el estrés. En J. Azcón-Bieto, j., & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 577-598). McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L.

TANASE, C., BUJOR, O.-C., POPA, V. I. (2019). Phenolic Natural Compounds and Their Influence on Physiological Processes in Plants. *Polyphenols in Plants*, 2019; 45–58.

- TUNA, S., AKPINAR-BAYZIT, A. (2009). The use of B-Glucosidase enzyme in black table olives fermentation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Clujnapoca*. 37, 182-189. doi: <https://doi.org/10.15835/nbha3723145>
- LOZANO-JUSTE, J, ET AL. (2023). Structure-guided engineering of a receptor-agonist pair for inducible activation of the ABA adaptive response to drought. *Science*. 9: DOI: 10.1126/sciadv.ade9948
- YANG, Z., ET AL. (2019). Abscisic Acid Receptors and Coreceptors Modulate Plant Water Use Efficiency and Water Productivity. *Plant Physiology*. 180, 1066-1080
- YANGUI, T., SAYADI, S., CHAKROUN, H., & DHOUB, A (2011). Effect of hydroxytyrosol-rich preparations on phenolic-linked antioxidant activity of seeds. *Engineering in Life Sciences*. 11, 511-516