



## **Análisis de compuestos bioactivos del CMS-LignoActiv de Azucarera del Guadalfeo**

### **Identificación de compuestos con actividad promotora del crecimiento vegetal en el producto CMS-LignoActiv**

De acuerdo a la memoria del proyecto de investigación “Estudio de los compuestos bioactivos promotores del crecimiento vegetal en un coproducto de la industria azucarera bioestimulante de plantas” suscrito entre la Universidad de Granada y la Azucarera del Guadalfeo se contempla como uno de los objetivos principales la caracterización de los compuestos bioactivos promotores del crecimiento vegetal y sus propiedades bioestimulantes del crecimiento y desarrollo de las plantas en el coproducto de la industria azucarera denominado condesado de melaza soluble (bajo el nombre comercial CMS-LignoActiv).

La melaza es el coproducto de la producción de azúcar, el cual es utilizado posteriormente para la destilación de alcohol. Sin embargo, este proceso de fermentación genera grandes cantidades de otros residuos como el caso del denominado condesado soluble de melaza. Por lo tanto, es un desafío transformar el condesado soluble de melaza en un coproducto de valor añadido en el ámbito de la economía circular. Debido a la presencia de elementos minerales, incluyendo nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y materia orgánica junto a otros micronutrientes bioactivos en el crecimiento vegetal (Srivastava et al., 2012). Así, estos nutrientes podrían ser útiles en el área de la agricultura, contribuyendo a disminuir la dependencia de los fertilizantes químicos requeridos por los cultivos en la actualidad (Sugany & Rajannan, 2009). Por tanto, la aplicación de CMS-LignoActiv podría ser beneficiosa para el aumento de la producción de cultivos, así como para la mejora física de la estructura del suelo y un aumento de la actividad biológica de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal. Sin embargo, los micronutrientes presentes en el condesado de melaza soluble se desconocen en gran medida siendo necesaria la identificación de los mismos para la puesta en valor de este coproducto.

La identificación de los compuestos bioactivos en la promoción del crecimiento vegetal en el producto CMS-LignoActiv se realizó mediante análisis cromatográfico utilizando un espectrómetro de masas con analizador de tiempo de vuelo (TOF) y sistema Triwave® WATERS modelo SYNAP G2 acoplado a un cromatógrafo de líquidos de alta presión (HPLC) WATERS modelo ACQUITY H CLASS disponible en el Centro de Instrumentación Científica (CIC) de la UGR de acuerdo a Mejías et al. (2022). Para ello, se realizó una dilución del producto CMS-LignoActiv en agua estéril (1/10 v/v) y se filtró a través de una membrana de celulosa de 0.22 µm de poro. Posteriormente, las muestras se sometieron a cromatografía líquida con un tiempo de vuelo de 40 minutos. Obtenidos los correspondientes patrones de cromatografía, los mismos se compararon con diferentes bases de datos para la identificación de los compuestos presentes en la muestra.

Se describen a continuación las sustancias identificadas en el compuesto CMS-LignoActiv de acuerdo a lo presentado en la tabla 1.

Tabla 1. Compuestos identificados en el producto CMS-Ligno Activ.

<b>Compuesto</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Principales mecanismos de promoción del crecimiento vegetal</b>
4-Metoxibenzil O-(2-sulfoglucósido)	$C_{14}H_{20}O_{10}S$	Incremento hidratos de carbono y de aminoácidos Biocontrol de plagas Tolerancia a diferentes estreses
Bensulfuron-metil	$C_{16}H_{18}N_4O_7S$	Biosíntesis de moléculas azufradas Inhibición malas hierbas
4-Metoxibenzenopropanol 1-(2-sulfoglucósido)	$C_{16}H_{24}O_{10}S$	Biosíntesis de aminoácidos Estimulación general del metabolismo
Alfa-4-Dihidroxitriazolam	$C_{17}H_{12}C_{12}N_4O_2$	Acción antimicrobiana Antioxidante Inductor de la respuesta de defensa
Veranisatin C	$C_{16}H_{20}O_{10}$	Acción antimicrobiana Antioxidante
Geranil difosfato	$C_{10}H_{20}O_7P_2$	Biosíntesis de hormonas vegetales Estimulación de la fotosíntesis Tolerancia a diferentes estreses
Bifentrin	$C_{23}H_{22}ClF_3O_2$	Biocontrol de plagas
Sulfometuron	$C_{14}H_{14}N_4O_5S$	Biosíntesis de moléculas azufradas Inhibición malas hierbas
Dimetil-2-galloilgalactarato	$C_{15}H_{18}O_{12}$	Inductor de la respuesta de defensa Estimulación de la fotosíntesis Antioxidante
6-Formlindolo [3,2-B] carbazol	$C_{19}H_{12}N_2O$	Biosíntesis de hormonas vegetales Estimulación asimilación del hierro Tolerancia a diferentes estreses
Alstoniafillina B	$C_{13}H_{21}NO_3$	Biocontrol de plagas
Ácido N-Nitrososfólico	$C_{19}H_{18}N_8O_7$	Incremento de la replicación celular Tolerancia a diferentes estreses
Nerilglucósido	$C_{16}H_{28}O_6$	Acción antimicrobiana
Ascorbato-2-sulfato	$C_6H_8O_9S$	Antioxidante Tolerancia a diferentes estreses
Arteméter	$C_{16}H_{26}O_5$	Biocontrol de plagas Acción antimicrobiana
1,2-Dicloroetano	$C_2H_4Cl_2$	Estimulante de la fijación de N Tolerancia a diferentes estreses
Ácido 9S,10S,11R-trihidroxi-12Z-octadecenoico	$C_{18}H_{34}O_5$	Acción antimicrobiana Biocontrol de plagas Biosíntesis de hormonas vegetales

		Inductor de la respuesta de defensa
Escorzósido	$C_{21}H_{30}O_8$	Acción antimicrobiana Tolerancia a diferentes estreses
Diácido giberélico A44	$C_{20}H_{28}O_6$	Biosíntesis de hormonas vegetales Tolerancia a diferentes estreses
Secoeremopetasitólido	$C_{21}H_{30}O_7$	Biocontrol de plagas
Fosfolípidos		Inductores de la respuesta de defensa Tolerancia a diferentes estreses
Ácido oleico	$C_{18}H_{34}O_2$	Inductor de la respuesta de defensa Biosíntesis de hormonas vegetales
3-O-[6-O-(9,12-Octadecadienool)-b-D-glucopiranosido] isofucosterol	$C_{53}H_{88}O_7$	Biocontrol de plagas Biosíntesis de hormonas vegetales Inductor de la respuesta de defensa
Triglicéridos		Biosíntesis de hormonas vegetales
Lauril hidrogeno sulfato	$C_{12}H_{26}O_4S$	Biosíntesis de moléculas azufrada
Tetradecil sulfato	$C_{14}H_{30}O_4S$	Biosíntesis de moléculas azufradas Acción antimicrobiana
1,2- Bis(clorometoxi)etano	$C_4H_8C_{12}O_2$	Degradación de la celulosa Tolerancia a diferentes estreses
Ácido 3,5-Piridin dicarboxílico 4-(2,1,3-benzoxadiazol-4-il)-2,6-dimetil-, mono(1-metiletil) éster	$C_{18}H_{17}N_3O_5$	Incremento de la replicación celular Biocontrol de plagas
Pumilaisoflavona B	$C_{27}H_{28}O_7$	Acción antimicrobiana Biocontrol de plagas
6-Metilquinolina	$C_{10}H_9N$	Acción antimicrobiana
Alnustona	$C_{19}H_{18}O$	Acción antimicrobiana
7-(4-Hidroxifenil)-1-fenil-4-hepten-3-ona	$C_{19}H_{20}O_2$	Acción antimicrobiana Antioxidante
Propoxur	$C_{11}H_{15}NO_3$	Biocontrol de plagas

#### 4-Metoxibenzil O-(2-sulfoglucósido) ( $C_{14}H_{20}O_{10}S$ )

El glicósido 4-metoxibenzil O-(2-sulfoglucósido) es un importante intermediario del metabolismo del carbono y de los aminoácidos (Cui et al., 2020), por lo que su aporte al medio de cultivo vegetal facilitaría la activación de diversos procesos biosintéticos relacionados con el metabolismo esencial de la planta, favoreciendo el crecimiento vegetal. Por otra parte, este compuesto azufrado puede actuar previniendo el desarrollo de patógenos en la rizosfera de las plantas (Bergamasco et al., 2022). Además, la suplementación en compuestos azufrados es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que modula diferentes procesos fisiológicos junto al aumento de la tolerancia a diferentes estreses abióticos. De forma particular, se ha descrito la importancia de una elevada presencia de compuestos azufrados en



áreas de cultivo intensivo para estimular la productividad y la calidad de cereales y vegetales (Zenda et al., 2021). Por tanto, el aporte de compuestos orgánicos azufrados favorece el desarrollo vegetal al promover la biosíntesis de moléculas azufradas tales como aminoácidos esenciales (metionina) y no esenciales (cisteína), sulfolípidos, centros activos hierro-azufre (Fe-S), vitaminas (tiamina y biotina), cofactores (S-adenosil-metionina y CoA) y precursores de hormonas vegetales y poliaminas (Shah et al., 2022).

#### Bensulfuron-metil ( $C_{16}H_{18}N_4O_7S$ )

El compuesto bensulfuron-metil es un potente agente para el control de diversas plagas vegetales, el cuál es ampliamente utilizado en cultivos de arroz. Este compuesto puede ser positivo para reducir la colonización de malas hierbas en cultivos ya establecidos debido a la actividad selectiva sobre plantas no deseadas (Sun et al., 2019). Igualmente, hay que destacar la presencia de azufre en esta molécula, lo que de forma general ayudaría a incrementar la tasa de crecimiento vegetal, de acuerdo a lo descrito para el 4-Metoxibenzil O-(2-sulfoglucósido).

#### 4-Metoxibenzenopropanol 1-(2-sulfoglucósido) ( $C_{16}H_{24}O_{10}S$ )

El compuesto 4-metoxibenzenopropanol 1-(2-sulfoglucósido), análogo al 4-metoxibenzil O-(2-sulfoglucósido), participa en el metabolismo de la alanina, el aspartato y el glutamato, importantes aminoácidos tanto para el desarrollo vegetal como para el humano. Además, interviene como molécula clave en la interconexión entre diferentes rutas metabólicas del carbono, especialmente en la transformación de las pentosas a otros metabolitos secundarios del carbono (Wu et al., 2024). Por tanto, su presencia mejora la capacidad de crecimiento de las plantas al inducir las rutas biosintéticas de producción de aminoácidos e hidratos de carbono, lo que repercute en productos agrícolas con un mayor contenido en proteínas de alto valor nutricional.

#### Alfa-4-Dihidroxitriazolam ( $C_{17}H_{12}N_4O_2$ )

El producto  $\alpha$ -4-dihidroxitriazolam se ha identificado en extractos de plantas y tiene importantes acciones bioactivas, principalmente acción antimicrobiana y antioxidante (Sultana et al., 2021). Así, su aporte a la rizosfera podría prevenir la colonización de las raíces por patógenos, ya que es capaz de inducir la respuesta defensiva de la plantas.

#### Veranisatin C ( $C_{16}H_{20}O_{10}$ )

El veranisatin C es un polifenol que forma parte del aceite esencial del anís. Como principal actividad destaca su efecto sinérgico sobre la capacidad de desarrollo vegetal ya que posee propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Shiekh ewt al., 2109).



### Geranil difosfato ( $C_{10}H_{20}O_7P_2$ )

El geranil difosfato es un compuesto de la familia de los isoprenoides que actúa como precursor de diversos metabolitos fundamentales para las plantas. Los isoprenoides están presentes en todas las especies vegetales y son considerados metabolitos esenciales debido a sus funciones insustituibles en múltiples procesos vitales, tales como la fotosíntesis (biosíntesis de carotenoides, clorofilas, fitoquinonas y plastoquinonas), la respiración (producción de ubiquinonas), la dinámica de membranas (síntesis de esteroides) o el control del desarrollo mediante el aumento de la concentración de hormonas vegetales como citoquininas, brasinoesteroides, giberelinas, ácido abscísico y estrigolactonas (Zita et al., 2023). De forma particular, hay que resaltar que el geranil difosfato es un precursor metabólico que interviene en la ruta biosintética de la producción de hormonas del tipo giberelinas e isoprenoides. Estas hormonas son esenciales para la fotosíntesis de las plantas ya que forman parte de los pigmentos fotosintéticos (carotenoides y clorofilas), pero también son componentes de la cadena de transporte de electrones, como las fitoquinonas y plastoquinonas, y, por último, en la biosíntesis de fotoprotectores tipo tocoferol (Barja & Rodríguez-Concepción, 2021). Por otra parte, hay que resaltar su acción general sobre el crecimiento, ya que favorece diversos procesos del desarrollo de las plantas tales como la germinación, la elongación del tallo, la expansión de las hojas, el desarrollo de los tricomas y la inducción de flores y frutos (Ortega-Martínez et al., 2013). Por tanto, la presencia exógena de esta hormona vegetal mejora la activación de diversas vías metabólicas secundarias, lo que permite una mayor utilización del fotosintato producido para la síntesis de una gran variedad de biomoléculas, facilitando así diversas funciones dentro del metabolismo general de las plantas. De forma particular, se ha identificado que una mayor presencia de este compuesto incrementa el desarrollo vegetativo de diversas especies hortofrutícolas tales como el tomate (*Solanum lycopersicum*, Ezquerro et al., 2023) o el repollo (*Brassica oleracea*, Yan et al., 2023) y promueve el desarrollo vegetal en otros cultivos tales como el algodón (*Gossypium* spp, Ali et al., 2020), la vinca (*Catharanthus roseus*, Kumar et al., 2002) o la rosa (*Rosa chinensis*, Conart et al., 2023). Además, esta activación de diversos mecanismos biosintéticos mejoraría la aptitud de las plantas frente a una amplia gama de condiciones ambientales no favorables, permitiendo un desarrollo óptimo de los cultivos ante diversas situaciones de estrés.

### Bifentrin ( $C_{23}H_{22}ClF_3O_2$ )

El bifentrin es un piretroide sintético utilizado para suprimir diferentes plagas como es el caso de la hormiga roja (*Solenopsis invicta*) y otros insectos. La aplicación de este compuesto impide la proliferación de insectos sin producir efectos perjudiciales sobre la colonización micorrízica y de rizobacterias en las plantas (Ahmad et al., 2015). Igualmente, se ha comprobado que la adición de este compuesto incluso en dosis elevadas, no tiene un efecto significativo en el desarrollo vegetal, por lo que su uso en el biocontrol de plagas es seguro para las plantas (Corkidi et al., 2009).



### Sulfometuron ( $C_{14}H_{14}N_4O_5S$ )

El sulfometuron es un compuesto de la familia de las sulfonilureas ampliamente empleado en cultivos de cereal para inhibir el crecimiento de malas hierbas (Burnet & Hodgson, 1991). Por tanto, su presencia en el suelo del cultivo previene el desarrollo de especies vegetales no deseadas para prevenir el secuestro de nutrientes lo que disminuye la capacidad de rendimiento de los cultivos vegetales. Además, debido a la presencia de Azufre en su molécula estimula la biosíntesis de compuestos azufrados.

### Dimetil-2-galloilgalactarato ( $C_{15}H_{18}O_{12}$ )

El dimetil-2-galloilgalactarato es un precursor del ácido gálico, compuesto comúnmente presente en diversas especies vegetales y cuya adición de forma exógena produce efectos beneficiosos en las plantas. Esto es debido a que incrementa el desarrollo vegetal como resultado de la activación fitoquímica y de genes de defensa de las plantas. De forma particular, se ha visto que en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) la adición de ácido gálico produce un aumento de la germinación y, además, estimula la biosíntesis de clorofila total y carotenoides, así como incrementando el contenido total de flavonoides (Singh et al., 2017). Las especies reactivas de oxígeno (ROS), fundamentalmente peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), ion superóxido ( $O_2^-$ ), radical hidroxilo ( $O\cdot$ ) y el oxígeno singlete ( $^1O_2$ ), aunque desempeñan una multitud de funciones de señalización en diferentes organismos, su sobreproducción en las plantas motivada por diversos estreses, tanto abióticos como bióticos, alteran la homeostasis y el metabolismo normal en las células al oxidar lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, lo que finalmente altera las células vegetales debido a este daño oxidativo. Sin embargo, las plantas superiores han desarrollado vías y mecanismos para protegerse de la toxicidad de ROS mediante sistemas antioxidantes enzimáticos, principalmente la enzima superóxido dismutasa (SOD), que descompone el  $O_2^-$  en  $O_2$  y  $H_2O_2$ , y las enzimas catalasa (CAT) y peroxidasa, que oxidan el  $H_2O_2$  hasta  $O_2$  y  $H_2O$  (Rehmani et al., 2019). Así, el ácido gálico es capaz de participar en mecanismos de disipación de las especies reactivas de oxígeno y de radicales libres como el  $H_2O_2$  y el  $O_2^-$  al estimular la producción de antioxidantes implicados en diversos mecanismos de defensa. Esto es debido a que este compuesto activa la expresión de los genes que controlan la activación de las enzimas encargadas en la disipación de ROS (OsWRKY71, PAL, CHS y LOX). Por tanto, la presencia de este precursor del ácido gálico estimula la respuesta frente al estrés oxidativo de las plantas, actuando como un importante promotor del crecimiento vegetal, ya que contribuye a maximizar el rendimiento de los cultivos agrícolas bajo condiciones no favorables. Además, este compuesto actúa sobre diferentes especies vegetales, como es el caso del tomate, reduciendo los efectos nocivos de la presencia de distintos metales pesados (Farghaly et al., 2021).

### 6-Formlindolo [3,2-B] carbazol ( $C_{19}H_{12}N_2O$ )



El 6-formilindolo [3,2-B] carbazol es un derivado del triptófano, el cuál es un aminoácido esencial necesario para muchos procesos biológicos. ya que la aplicación de triptófano en el suelo es capaz de aumentar el crecimiento de muchos cultivos, tales como los garbanzos y el trigo. Interesantemente, el triptófano es el precursor del ácido indolacético (AIA), comúnmente conocido como auxina, una de las hormonas vegetales más importantes. Así, un aumento en el nivel de auxina aumenta el número y longitud de los pelos radiculares, logrando con esto una mayor captación de nutrientes lo que promueve en consecuencia el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Andrade Ayala et al., 2020). Por tanto, la metabolización 6-formilindolo [3,2-B] carbazol liberaría al suelo el triptófano que posteriormente se transformaría en ácido indol acético mediante la actividad de las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, estimulando el crecimiento vegetal (Ul Hassan & Bano, 2015). Por otra parte, la presencia del triptófano activa diversas redes reguladoras genéticas para hacer frente a diversos estreses. Por tanto, la presencia del precursor del triptófano en el suelo contribuiría a un buen desarrollo vegetal cuando se experimenta un estrés abiótico, como es la sequía o la alta salinidad, dos de los factores de estrés importantes que limitan el crecimiento vegetal y que tiene un mayor impacto sobre el rendimiento de los cultivos (Nolan et al., 2017). Por otra parte, hay que indicar que la presencia del triptófano, precursor de las auxinas, también se ha relacionado con una mejora de la asimilación del hierro, el cual es uno de los principales oligoelementos para el desarrollo vegetal, y que en múltiples ocasiones se presenta en concentraciones por debajo de las recomendadas en los suelos agrícolas. De acuerdo a Mushtaq et al. (2022), la adición de triptófano al suelo en cultivos de patata (*Solanum tuberosum*) junto a la presencia de una adecuada microbiota es capaz de aumentar la concentración de hierro biodisponible hasta el doble y, al mismo tiempo, mejorar las características nutricionales del tubérculo (contenido de almidón, vitamina C, contenido relativo de agua), junto a un aumento significativo en la altura de la planta, el rendimiento y el número de tubérculos por planta.

#### Alstoniafillina B ( $C_{13}H_{21}NO_3$ )

El alcaloide alstoniafillina B tiene una importante acción en el tratamiento de infecciones causadas por protistas (Cheenpracha et al., 2013). En el ámbito de la promoción del crecimiento vegetal podría tener un efecto beneficioso en el control de las diversas plagas causadas por parásitos vegetales como es el caso de *Plasmodiophora brassicae*, cuya prevalencia actual es del 10% de afectación de los cultivos de la familia *Brassicaceae*, y cuyo desarrollo en cultivos de diferentes miembros de las crucíferas, como son el nabo o la col china, produce graves daños lo que resulta en cultivos subdesarrollados o inhibidos por completo (Lebreton et al., 2019).

#### Ácido N-Nitrosofólico ( $C_{19}H_{18}N_8O_7$ )

El ácido N-Nitrosofólico es el derivado nitrosaminado del ácido fólico (vitamina B<sub>9</sub>). El ácido fólico y sus derivados (folatos) se han empleado ampliamente como abono foliar ya que la aplicación exógena, independientemente del estado de crecimiento de la hoja, tiene un efecto



beneficioso sobre el crecimiento de las plantas, el rendimiento de los cultivos y la mejora de la calidad de los frutos. Esto es debido a un incremento en la producción de ácidos nucleicos así como de la biosíntesis de metionina, pantotenato, glicina y serina y que además favorece la absorción de los micronutrientes Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre (Ayala-Rodríguez et al., 2017). De este modo su aplicación sobre cultivos de arroz aumenta significativamente las características morfofisiológicas de las plantas y el rendimiento y la calidad del grano (Omar et al., 2020). Además, en situaciones de estrés hídrico, la aplicación de este compuesto en cultivos de judía (*Phaseolus vulgaris*) disminuye en un 30% los efectos adversos que en este cultivo produce la falta de agua, como son la disminución significativa del crecimiento de las plantas, rendimiento de la producción y disminución del contenido en proteínas (Ibrahim et al., 2021). Finalmente, destacar la importancia de un aporte exógeno de este compuesto sobre el conjunto de la microbiota del suelo, ya que la vitamina B<sub>9</sub> es fundamental también para el desarrollo las comunidad bacteriana, ya que participa en la síntesis de ADN y, por tanto, es esencial para un rápido y correcto crecimiento de todas las células, tanto eucariotas como procariotas, lo que en definitiva favorece el establecimiento de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en la rizosfera.

#### Nerilglucósido (C<sub>16</sub>H<sub>28</sub>O<sub>6</sub>)

El nerilglucósido es el derivado glicosilado del nerol, componente del aceite esencial de la uva, el té, la rosa y otras plantas. Este alcohol terpénico se utiliza principalmente en perfumes, mientras que su glucósido tiene acción antibacteriana y antifúngica (Takahashi et al., 2018). Hay que indicar, que la presencia del nerol en la rizosfera actuaría como elicitador vegetal que estimularía la producción de diversos metabolitos secundarios de las plantas, lo que en definitiva favorece su desarrollo (Humbal & Pathak, 2023).

#### Ascorbato-2-sulfato (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>9</sub>S)

Esta sal del ácido ascórbico (vitamina C) presenta excelentes propiedades antioxidantes, ya que es capaz de eliminar radicales libres disminuyendo el daño inicial del ADN, protegiendo así a las células al participar en las vías de señalización iniciadas tanto por ROS como por especies reactivas de nitrógeno (Yi et al., 2022). De forma específica, el ácido ascórbico es una molécula protectora frente a diferentes estreses abióticos (salino, por ozono, térmico) en múltiples especies hortofrutícolas mediante la modulación de diversas propiedades biológicas y fisicoquímicas para proporcionar tolerancia contra dichos estreses (Zahra et al., 2022). En este sentido, en plantas de pimiento (*Capsicum annum*) sometidas a estrés salino, la adición de ácido ascórbico revertió los efectos nocivos del estrés en términos de altura, producción de biomasa y contenido de clorofila (El-Beltagi, et al., 2022). Además, la aplicación foliar de la vitamina C es capaz de reducir el impacto nocivo de la salinidad en plantas de lechuga (*Lactuca sativa*), cuya producción se ve fuertemente afectada por la presencia de sal, incluso en concentraciones bajas de NaCl (Naz et al., 2022). De forma similar, la adición de ácido





ascórbico es capaz de reducir significativamente los efectos nocivos de una elevada presencia de metales pesados en plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) al incrementarse la actividad de las enzimas POD y SOD (Saleem et al., 2022). Por otro lado, se ha visto que la suplementación de vermicompost adicionado de ácido ascórbico produce un aumento del rendimiento económico de los cultivos de tomate, ya que aumenta los frutos producidos tanto en términos de calidad como de cantidad (Ibrahim et al., 2022).

#### Arteméter ( $C_{16}H_{26}O_5$ )

El arteméter es un compuesto derivado sesquiterpénico de la artemisina producida por el ajeno dulce (*Artemisia annua*), especie vegetal ampliamente cultivada para la producción de esta lactona. La artemisina es un potente medicamento útil en el tratamiento de la malaria, ya que es esencial para el tratamiento de infecciones producidas por cepas de *Plasmodium falciparum* resistentes a la cloroquina (Jessing et al., 2011). Por otra parte, hay que indicar, que esta lactona es un agente seguro para el biocontrol de más de 370 especies de maleza resistentes a los productos convencionales comercializados debido a su actuación sobre sitios de acción diferentes a los empleados por otros compuestos convencionales utilizados para el biocontrol de plagas. Teniendo en cuenta que las malas hierbas causan abundantes pérdidas en el rendimiento de los cultivos y que añaden más sobrecostos de producción que los derivados de otras plagas y patógenos de las plantas, la aplicación de compuestos biológicos producidos durante el metabolismo secundario de los vegetales con capacidad para biocontrolar diversas malas hierbas tiene un gran potencial como alternativa para el manejo de malezas en el marco de una agricultura sostenible. De este modo, el derivado en forma de éter de la artemisina tiene acción inhibitoria sobre *Phalaris minor* (alpiste de pequeña semilla, maleza invasora de los campos de trigo que interfiere en la calidad y producción del trigo), *Panicum repens* (grama del norte, planta rizomatosa invasora de campos de cultivo y de humedales y que actualmente es considerado una problema en 27 países) y *Silybum marianum* (cardo mariano, maleza importante en muchas áreas de América del Norte y del Sur, África, Australia y Medio Oriente) (Saad et al., 2013). Por tanto, la presencia del arteméter en el suelo agrícola puede relacionarse con una actividad limitante del crecimiento de malas hierbas y podría ser empleado como agente biológico seguro y respetuoso con el medio ambiente para el biocontrol de plagas vegetales.

#### 1,2-Dicloroetano ( $C_2H_4Cl_2$ )

El 1,2-dicloroetano es un intermediario químico ampliamente usado en diversas industrias. Este compuesto orgánico puede ser utilizado como sustrato energético para diversas bacterias fijadoras del Nitrógeno como es el caso de *Xanthobacter autotrophicus*. Además, este compuesto se transforma de forma sencilla en etileno en un solo paso mediante dihaloeliminación reductora debido a la acción de ciertas bacterias anaerobias presentes en el suelo (Klečka et al., 1998). Cabe mencionar, que el etileno es una fitohormona clave en la



regulación del crecimiento vegetal bajo condiciones ambientales adversas, ya que desencadena la respuesta de defensa y supervivencia de las plantas. Además, coopera con otras hormonas, como son el ácido jasmónico, el ácido abscísico, los brasinoesteroides, las auxinas, el ácido giberélico, el ácido salicílico y la citoquinina, en la adaptación a diversos ambientes desfavorables tales como excesivo calor o frío, presencia de metales pesados, alta salinidad, mala iluminación, deficiencia de nutrientes e incluso la sequía o inundaciones (Chen et al., 2021). Por ello, la presencia del precursor de esta hormona en la rizosfera actuaría de forma dual en la promoción del crecimiento vegetal, al servir de sustrato para diversas bacterias beneficiosas del crecimiento vegetal que aportan Nitrógeno al suelo y, por otra parte, como precursor de la biosíntesis de la hormona vegetal etileno.

#### Ácido 9S,10S,11R-trihidroxi-12Z-octadecenoico ( $C_{18}H_{34}O_5$ )

El ácido 9S,10S,11R-trihidroxi-12Z-octadecenoico o 9,10,11-THOE es una oxilipina producida a través de la oxigenación de ácidos grasos poliinsaturados mediante la acción de una lipooxigenasa (Xu et al., 2022). Se ha demostrado que una mayor biosíntesis del 9,10,11-THOE en las planta resulta en una reducción de la viabilidad de las formas juveniles del nematodo *Meloidogyne javanica* en un 37% (Naor et al., 2018), el cual es el nematodo agallador más importante en los cultivos de zonas tropicales y en cultivos de invernadero de zonas más templadas de acuerdo al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ([https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma\\_conocimiento/fichas/pdf/fd\\_213.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma_conocimiento/fichas/pdf/fd_213.pdf)), ya que afecta a múltiples hortalizas, tales como tomate y patata (Brito et al., 2020; Carmona et al., 2020), y árboles frutales del hueso duro (Saeed et al., 2023). Igualmente, el 9,10,11-THOE se ha descrito como un compuesto con actividad frente a hongos fitopatógenos que atacan a los tubérculos actuando por tanto como agente de biocontrol de especies fúngicas no deseadas (Hamberg, 1999). Además, este compuesto es un producto intermediario de la biosíntesis del ácido jasmónico, por lo que su presencia en suelo estimularía las importantes acciones que esta hormona vegetal ejerce sobre las plantas como son la regulación positiva transcripcional de los genes de defensa y la activación de la acumulación de metabolitos secundarios, principalmente alcaloides y terpenoides, los cuales actúan como respuesta de defensa frente a patógenos y plagas, sin reducir la capacidad de crecimiento de las plantas (Sugimoto et al., 2022).

#### Escorzósido ( $C_{21}H_{30}O_8$ )

El escorzósido es un metabolito secundario tipo lactona sesquiterpénica producido por plantas de la familia *Asteraceae* y considerándose un compuesto tipo fitoalexina, los cuales son compuestos químicos antimicrobianos biosintetizados en las plantas como reacción de defensa frente a una infección contribuyendo a la eliminación del agente patógeno. Así, el escorzósido es capaz de alterar la pared celular de hongos y bacterias invasoras que atacan a las especies vegetales, y, a la vez, actúa como atrayente de microorganismos depredadores de plagas (Chadwick et al., 2013). Por otra parte, es un compuesto protector frente al estrés ambiental al



prevenir los daños oxidativos derivados de los mecanismos de defensa frente al estrés en las plantas (Michalska & Kisiel, 2013).

#### Diácido giberélico A44 (C<sub>20</sub>H<sub>28</sub>O<sub>6</sub>)

Las giberelinas abarcan un gran grupo de diterpenoides de ácidos carboxílicos, originalmente descritas en el hongo *Gibberella fujikuroi*, que promueve el crecimiento en plantas superiores, y, posteriormente, descritas como hormonas naturales a finales de la década de 1950 (Hedden & Sponsel, 2015). Estas hormonas promueven el crecimiento de órganos vegetales a través de la estimulación de la división celular y, en muchas especies, activando diversos procesos relacionados con el desarrollo vegetativo, como la germinación de semillas, la maduración y la inducción de la floración. Además, la presencia de esta hormona en la rizosfera, a través de su biosíntesis por bacterias y hongos, actúa sobre la planta huésped para ayudar a la respuesta frente al daño causado por la producción de ROS derivados de un estrés abiótico, tales como son la salinidad o el frío, o por el estrés biótico causado por patógenos (Hernández-García et al., 2021). Por lo tanto, la presencia en la rizosfera de algunas de las múltiples giberelinas, como es la giberelina A44, mejoraría el rendimiento y la tolerancia al estrés de múltiples cultivos.

#### Secoeremopetasitólido B (C<sub>21</sub>H<sub>30</sub>O<sub>7</sub>)

El secoeremopetasitólido B es un sesquiterpeno de tipo eremofilano, ampliamente presente en varios géneros vegetales de la familia *Asteraceae*, el cuál debido a sus características estructurales únicas y a sus diversos grupos funcionales posee una serie de actividades promotoras del crecimiento vegetal y de defensa mediante la estimulación de la producción de metabolitos secundarios (How et al., 2013). Además, recientemente se ha descrito la producción de estos metabolitos especializados por hongos endofíticos con una importante acción antibacteriana sobre fitopatógenos (Rajendran et al., 2023).

Fosfolípidos (PS(17:2(9Z,12Z)/22:6(4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z)),  
PS(17:2(9Z,12Z)/22:6(4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z)), PE(P-18:0/17:2(9Z,12Z)),  
PI(18:0/22:4(10Z,13Z,16Z,19Z)), PS(22:1(11Z)/17:0), PE(15:0/24:1(15Z)))

Los fosfolípidos de forma general desempeñan un importante papel de señalización durante el desarrollo de las plantas crecidas en condiciones favorables e intervienen en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico y biótico. De acuerdo con múltiples investigaciones, la aplicación exógena de estos compuestos reduce la respuesta hipersensible y, a su vez, aumenta la resistencia sistémica adquirida en las plantas para mejorar el rendimiento de los cultivos y



la calidad del producto (Cowan et al., 2006). Esta acción exógena recae en la transmisión de la información entre la membrana plasmática, el citosol y otros orgánulos, particularmente el núcleo, ya que estos compuestos pueden atravesar fácilmente las membranas celulares y de las organelas. Por tanto, las enzimas procesadoras de lípidos son responsables de la producción y el catabolismo de mediadores lipídicos involucrados en las respuestas de las plantas al estrés (Ruelland et al., 2015). Por otra parte, de manera específica, mayores concentraciones de estos fosfolípidos en el ámbito radicular se han vinculado con mayores calidades organolépticas del melón (*Cucumis melo*), previniendo la formación de compuestos astringentes que de forma común se producen en esta hortalizas cuando se someten a injerto (Zhang et al., 2019).

### Ácido oleico ( $C_{18}H_{34}O_2$ )

La síntesis *de novo* de ácidos grasos ocurre exclusivamente en los plastidios de las células vegetales y conduce a la síntesis de ácido oleico, cuyo correcto metabolismo mediante la enzima glicerol-3-fosfato (G3P) aciltransferasa es fundamental para síntesis de glicerolípidos en eucariotas, los cuáles son compuestos importantes en el metabolismo celular (Lee et al., 2009). Además, el aporte exógeno de este lípido puede contribuir al mantenimiento de un nivel elevado de ácido esteárico en el interior de la célula vegetal lo que es fundamental para la correcta regulación de las vías de señalización mediadas por el ácido salicílico y el ácido jasmónico (Kachroo et al., 2004). En este sentido, el ácido salicílico interviene en las respuestas del huésped ante la infección por patógenos y su adición exógena al medio vegetal estimula el sistema de resistencia adquirida de las plantas (Lefevre et al., 2020). Por otro lado, el ácido jasmónico se ha definido como la hormona fundamental para controlar el estrés vegetal, ya que está implicada en la respuesta para prevenir los daños en las plantas debidos al estrés biótico (patógenos y herbívoros) y al estrés abiótico (salinidad del suelo, heridas y rayos UV) (Ghorbel et al., 2021). Además, diferentes investigaciones han revelado que estas dos hormonas controlan positivamente varios procesos fisiológicos como son el crecimiento de las raíces, el crecimiento de los órganos reproductivos, la senescencia de las plantas, así como la biosíntesis de varios metabolitos (fitoalexinas y terpenoides) (Wasternack & Hause, 2019; Ullah et al., 2023). Por tanto, un aporte exógeno de este lípido podría mejorar la producción de estas dos importantes hormonas vegetales, incrementando el desarrollo vegetativo.

### 3-O-[6-O-(9,12-Octadecadienool)-b-D-glucopiranosido] isofucosterol ( $C_{53}H_{88}O_7$ )

El 3-O-[6-O-(9,12-Octadecadienool)-b-D-glucopiranosido] isofucosterol es un derivado de tipo ergosterol, cuyo compuesto parental, el isofucosterol, está íntimamente relacionado con la biosíntesis de diferentes hormonas vegetales. De este modo, se ha determinado que el aumento de la fitohormona kinetina, estimulante de la producción de este compuesto en cultivos *in vitro* de raíces de *Calendula officinalis*, resulta en un aumento de la respuesta de defensa de las plantas y confiere resistencia frente a los virus y patógenos biotróficos mediante un aumento de la acumulación de ácido salicílico, lo cual es necesario en la inducción de defensa de las plantas frente a diferentes tipos de estreses ambientales (sequía, salinidad, inundaciones, cambios de temperatura) (Alsoufi et al., 2021). Es por ello, que la presencia del isofucosterol



en la matriz del suelo induciría los sistemas de defensa de las plantas al favorecer el incremento de esta hormona vegetal e incrementando varios procesos vitales para las plantas como son la fotosíntesis, absorción y transporte de iones, y la defensa contra patógenos.

### Triglicéridos

(TG(18:3(9Z,12Z,15Z)/20:5(5Z,8Z,11Z,14Z,17Z)/20:5(5Z,8Z,11Z,14Z,17Z))[iso3],  
TG(17:2(9Z,12Z)/20:5(5Z,8Z,11Z,14Z,17Z)/22:6(4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z))[iso6]

Los triglicéridos son los compuestos de almacenamiento de energía más abundantes en los eucariotas y su metabolismo juega un papel clave en el equilibrio energético celular, la homeostasis de los lípidos, el crecimiento y el mantenimiento de los tejidos. Además, las plantas acumulan estos ácidos grasos principalmente en semillas y frutos, siendo necesaria su presencia para la obtención de productos agrícolas con la calidad suficiente para su comercialización. Por lo que un aporte de estos compuestos al suelo promovería el metabolismo general tanto de las plantas como los hongos micorrícicos asociados a sus raíces ya que estimula el flujo de carbono tanto entre tejidos como entre compartimentos subcelulares (Avidan et al., 2015). Además, teniendo en cuenta la acción de las fitohormonas kinetinas sobre el metabolismo lipídico, la presencia estos triglicéridos en el suelo mimetizaría el efecto de esta hormona sobre diversas rutas biosintéticas, favoreciendo el desarrollo vegetal.

### Lauril hidrogeno sulfato ( $C_{12}H_{26}O_4S$ )

El lauril hidrogeno sulfato o dodecilsulfato es un agente surfactante tanto de origen natural como sintético ampliamente empleado a nivel industrial y en productos de uso diario, cuya presencia no tiene un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas (Salvatori et al., 2021). Sin embargo, hay que tener en cuenta la preferencia de distintos microorganismos por la metabolización de este compuesto por algunos de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal del suelo (*Acinetobacter*, *Azotobacter* o *Stenotrophomonas*), por lo que su presencia en el suelo podría ser considerada como un nutriente para los mismos, Además, la hidrólisis de este surfactante produce sulfatos inorgánicos y alcoholes de cadena larga (alcohol láurico, alcohol estearílico y alcohol oleico), los cuales pueden ser posteriormente transformados en ácidos grasos e incorporados a la biomasa vegetal (Bondi et al., 2015). Finalmente, indicar que debido a la presencia de azufre en esta molécula, su presencia en el suelo promueve de forma general el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zenda et al., 2021).

### Tetradecil sulfato ( $C_{14}H_{30}O_4S$ )

El tetradecil sulfato es el surfactante sintético más común y ampliamente utilizado en medicina, cuya síntesis se basa en la condensación aldólica seguida de la sulfonación del alcohol (Fatimi et al., 2022). De este modo, este compuesto presenta las mismas propiedades promotoras del crecimiento vegetal descritas para el lauril hidrogeno sulfato. Si bien, también hay que indicar



que los ésteres de este compuesto previenen la aparición de plagas fúngicas en los cultivos. De forma específica, los ésteres del tetradecil sulfato producidos por la bacteria promotora del crecimiento vegetal *Bacillus atropheus* tiene un efecto inhibitorio del crecimiento del fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides* ya que impide el crecimiento de este hongo en diferentes cultivos de laboratorio (Rajaofera et al., 2019). Este hongo está clasificado entre los diez principales patógenos fúngicos de las plantas al causar la enfermedad de la antracnosis en diversos árboles frutales con graves efectos en el desarrollo de los frutos y cuya presencia está ampliamente distribuida en todas las regiones del mundo, siendo especialmente grave en los cultivos de olivar (Hsieh et al., 2023). Por tanto, la presencia del tetradecil sulfato podría prevenir la aparición y desarrollo de este importante fitopatógeno en diferentes cultivares junto a la estimulación general el crecimiento y desarrollo de las plantas.

#### 1,2- Bis(clorometoxi)etano ( $C_4H_8Cl_2O_2$ )

El compuesto bis(clorometoxi)etano o etilenglicol bis(clorometil)éter se relaciona con la conversión de la celulosa hasta polioles más sencillos químicamente, tales como el manitol, el sorbitol o el galactitol, a través de varios tipos de reacciones, incluidas la hidrólisis, la hidrogenólisis y la hidrogenación (Yue et al., 2012). Por tanto, la presencia de este compuesto incrementaría la capacidad de degradación de la celulosa vegetal favoreciendo el desarrollo microbiano al ayudar a reducir el cuello de botella que la degradación de la celulosa supone en el ciclo biogeoquímico del Carbono en el suelo. Además, este compuesto puede ser transformado hasta polietilenglicol, el cual es un popular agente para el recubrimiento de semillas o “osmopriming” como técnica de preparación para mejorar la germinación y la emergencia de muchas especies (Lei et al., 2021). Además, la presencia del polietilenglicol puede constituir una herramienta útil para superar los problemas derivados de la sequía en las plantas al actuar como agente osmoprotector, asegurando un alto y exitoso establecimiento de semillas plantadas, aliviando los impactos negativos de este estrés abiótico, cada vez más común en el sur de Europa.

#### Ácido 3,5-Piridin dicarboxílico 4-(2,1,3-benzoxadiazol-4-il)-2,6-dimetil-, mono(1-metiletil) éster ( $C_{18}H_{17}N_3O_5$ )

Este derivado del ácido piridindicarboxílico es un compuesto orgánico derivado dicarboxílico de la piridina presente en el aceite esencial de la albahaca (*Ocimum basilicum*). De acuerdo con Zhang et al. (2009), los compuestos presentes en el extracto de albahaca tienen acción frente a los importantes hongos fitopatógenos *Fulvia fulva*, *Glomerella cingulata*, *Alternaria alternate* y *Fusarium solani*. Además, su vinculación con la piridina se relaciona con un incremento del metabolismo tanto de células procariontas como eucariotas, ya que este compuesto se encuentra en múltiples compuestos esenciales para la vida, entre ellos la coenzima nicotinamida adenina dinucleótido (NAD), la niacina (vitamina B<sub>3</sub>) y la piridoxina (vitamina B<sub>6</sub>). Por tanto, la presencia del ácido piridinadicarboxílico tendría un doble



mecanismo de promoción del crecimiento vegetal actuando en el biocontrol de plagas vegetales y estimulando el desarrollo de la microbiota del suelo al favorecer la biosíntesis de diversos compuesto esenciales.

#### Pumilaisoflavona B (C<sub>27</sub>H<sub>28</sub>O<sub>7</sub>)

El flavonoide pumilaisoflavona B es un compuesto presente en diversas especies del género *Tephrosia* de la familia de las leguminosas (*Fabaceae*), cuyo aceite esencial se ha descrito como agente de biocontrol frente a insectos, virus, protozoos y plasmodios (Chen et al., 2014). Por tanto, la presencia de este compuesto podría tener efectos beneficiosos sobre la colonización de las plantas por múltiples agentes patógenos de estas categorías taxonómicas al impedir su desarrollo, el cual produce un menoscabo de la capacidad de desarrollo de las especies vegetales.

#### 6-Metilquinolina (C<sub>10</sub>H<sub>9</sub>N)

El 6-metilquinolina pertenece al grupo de las quinolinas con acción antifúngica y antibacteriana (Bawa et al., 2009), por lo que su aporte al sustrato de crecimiento de las plantas podría impedir la colonización de las plantas por microorganismos patógenos. Además, recientemente se ha propuesto que la adición de quinolinas estimula el crecimiento y rendimiento de las cosechas, puesto que la presencia de este compuesto aumenta la germinación de las semillas de berenjena (*Solanum melongen*) en un 50% y la masa vegetativa tras el desarrollo vegetal en un intervalo del 10 al 40 % al igual que el rendimiento de los frutos (28 al 46 %) (Vostrikova et al., 2021). Por tanto, este compuesto se perfila como una prometedora sustancia promotora del crecimiento vegetal tanto por su capacidad de biocontrol como de incrementar a nivel general el desarrollo vegetal.

#### Alnustona (C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>O)

La alnustona es un compuesto de diarilheptano, aislado y extraído originalmente de la planta *Alpinia katsumadai* y posteriormente de los alisos (*Alnus pendula*) y del jengibre de Java (*Curcuma xanthorrhiza*) (Salari et al., 2024). Entre las diferentes acciones sobre la salud humana, presenta una importante acción antibacteriana (Wang et al., 2022), por lo que podía tener acción sobre el desarrollo vegetal al impedir el desarrollo de bacterias perjudiciales en el ámbito de la agricultura.

#### 7-(4-Hidroxifenil)-1-fenil-4-hepten-3-ona (C<sub>19</sub>H<sub>20</sub>O<sub>2</sub>)

El 7-(4-Hidroxifenil)-1-fenil-4-hepten-3-ona es, al igual que la alnustona, un diarilheptano presente en las raíces, rizomas y cortezas de diferentes especies de *Alpinia*, *Zingiber*, *Curcuma*



y *Alnus*, con notable actividad antimicrobiana y antioxidante (Lv & She, 2010), lo cual podría tener un efecto beneficioso sobre el desarrollo vegetal tanto por su capacidad de biocontrol de plagas como inductor de la respuesta de defensa en los vegetales.

### Propoxur ( $C_{11}H_{15}NO_3$ )

El propoxur es un compuesto de tipo carbamato de amplio espectro frente a diversos agentes patógenos y que se ha utilizado de forma muy común en el biocontrol de diferentes insectos. Así, la presencia de este compuesto contribuiría a prevenir el efecto nocivo de diferentes plagas sobre los que este compuesto tendría un efecto inhibitorio de su crecimiento. Además, se ha demostrado en diferentes aislamientos que la bacteria promotora del crecimiento vegetal *Streptomyces* spp. (Vurukonda et al., 2018) puede crecer a partir de la degradación de este compuesto, empleándolo como fuente de carbono (Rahmansyah et al., 2012). Por ello, la presencia de propoxur en el suelo estimularía de manera específica esta bacteria, la cuál es una fuente natural de diferentes antibióticos utilizados en múltiples sectores incluidos el agrícola (Nonthakaew et al., 2022). Además, los estreptomicetos son capaces de degradar sustancias orgánicas complejas, como la quitina y la celulosa mediante la utilización de sus enzimas líticas, lo que promueve el desarrollo de la microbiota del suelo e incrementa la biodisponibilidad de compuestos carbonados asimilables por microorganismos beneficiosos a partir de la degradación de la celulosa. Así mismo, esta bacteria estimula el desarrollo vegetal mediante la producción de auxina; además, contribuye a la asimilación del hierro mediante la producción de sideróforos bacterianos y a la solubilización de fosfatos (Suárez-Moreno et al., 2019). Por tanto, la presencia de este compuesto en el ámbito radicular favorecería el desarrollo selectivo de la actinobacteria *Streptomyces*, lo que en definitiva favorece el desarrollo vegetal derivado de los diversos mecanismos de promoción del crecimiento vegetal asociados a este microorganismo.

De todo esto se puede constatar que la adición de este coproducto de la industria azucarera al suelo agrícola es una fuente de diversos elicitors vegetales con diversas capacidades potenciales para promover el crecimiento vegetal.

Así, de acuerdo a las propiedades de estos compuestos bioactivos presentes en el CMS-LignoActiv, podríamos afirmar que enmendar el suelo con el coproducto mejoraría la biosíntesis de múltiples moléculas necesarias para el correcto funcionamiento celular tanto de las plantas como de las comunidades microbianas establecidas en sus rizosferas, como son moléculas azufradas, aminoácidos esenciales y no esenciales, hormonas vegetales, clorofila y otros compuestos fotosintéticos, ácidos nucleicos y ácidos grasos; además de promover una mayor disponibilidad del Carbono al inducir la metabolización de la celulosa en la que está enriquecida el condensado soluble de melaza y mejorar la absorción de los micronutrientes Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre. De este modo, la aplicación de este producto agronómico enriquecido en moléculas bioactivas promovería el desarrollo vegetal de





las plantas de forma general al estimular múltiples procesos metabólicos, lo que en definitiva resulta en una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Por otra parte, la presencia en conjunto de los diversos elicitores vegetales presentes en el CMS-LignoActiv promueve el desarrollo vegetativo de las plantas mediante diversos mecanismos específicos ya que estos compuestos bioactivos son capaces de incrementar las poblaciones bacterianas de la rizosfera. Así, por una parte, estas biomoléculas favorecen el crecimiento de las bacterias con capacidad para fijar Nitrógeno, mejoran la solubilización del Fósforo e incrementan la biodisponibilidad de Hierro mediante la producción de sideróforos y favorecen la biosíntesis de hormonas vegetales, lo que en definitiva ejerce un efecto sinérgico sobre el crecimiento vegetal. Además, se ha descrito ampliamente que estos compuestos elicitores tienen capacidad para el biocontrol de múltiples fitopatógenos debido a su capacidad antibacteriana, antifúngica, antiviral, antiprotzoario y antiplasmoidal; al mismo tiempo, estos compuestos son capaces de reducir la presencia de diferentes insectos, limitar el crecimiento de malas hierbas e inducir la respuesta sistémica de las plantas frente a especies reactivas de oxígeno.

Por último, indicar que la adición del CMS-LignoActiv al suelo ayudaría a los cultivos a mejorar su respuesta frente a múltiples factores ambientales bióticos y abióticos de acuerdo a las capacidades de estos elicitores para aumentar la tolerancia de los cultivos vegetales frente a los daños ocasionados por diversos estreses sobre el desarrollo vegetal, contribuyendo así a reducir los efectos nocivos de los mismos en el crecimiento y rendimiento de las cosechas, estreses que cada vez son más frecuentes e intensos en la práctica agrícola a nivel global y en particular en el sur de Europa.

Un resumen de este triple efecto sobre el desarrollo vegetativo del coproducto CMS-LignoActiv se muestra en la figura 1.

## Triple efecto sobre el desarrollo vegetativo CMS-LignoActiv

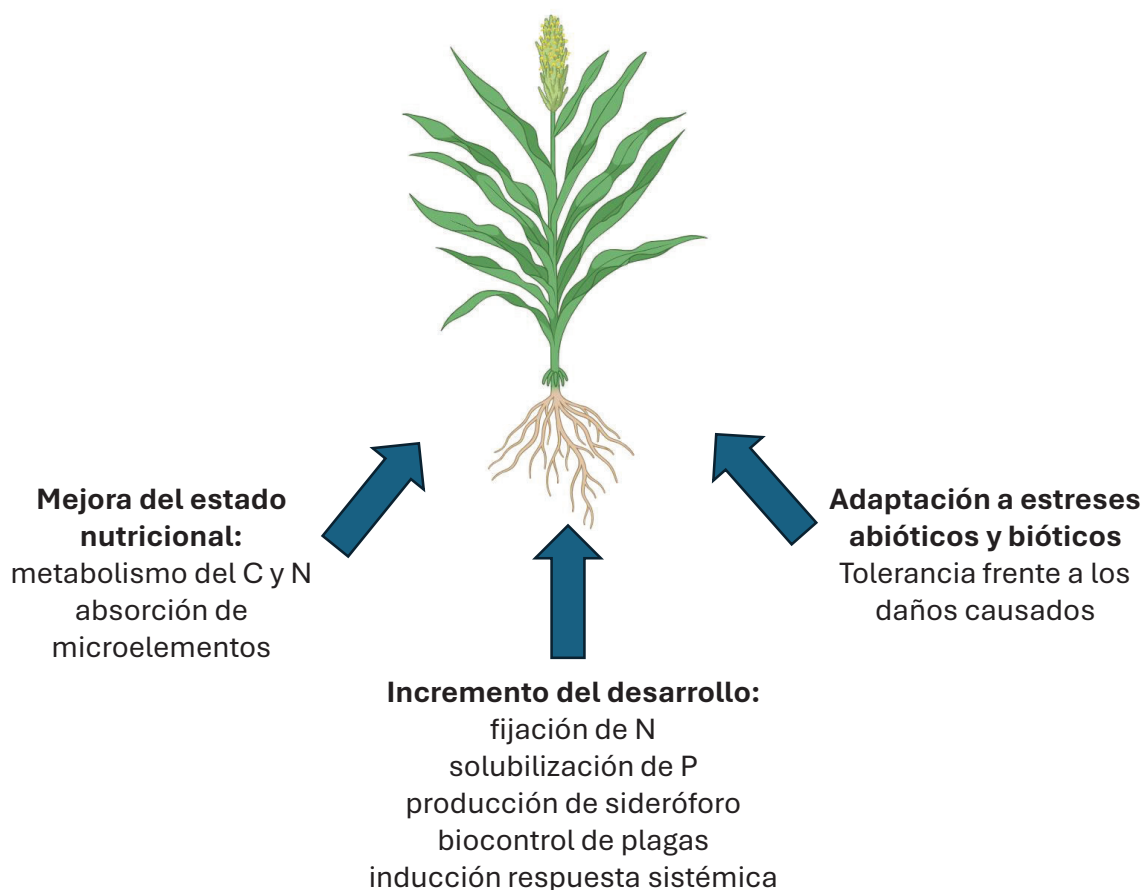


Figura 1. Diagrama esquemático sobre la triple vertiente de promoción del crecimiento vegetal de acuerdo a los potenciales mecanismos descritos para los elicitores presentes en el coproducto de la industria azucarera CMS-LignoActiv.

### Conclusiones

El análisis de los compuestos bioactivos presentes en el producto CMS-LignoActiv sugiere que este producto tiene una amplia capacidad potencial para promover el crecimiento vegetal, debido a las diferentes propiedades descritas para los elicitores presentes en el producto. La adición de este biofertilizante al suelo mejoraría de forma general el estado nutricional de las plantas al favorecer el metabolismo general de los hidratos de carbono y de los aminoácidos. Además, los compuestos presentes en el coproducto son estimuladores potenciales de diversos mecanismos específicos tales como la incrementación de las poblaciones bacterianas fijadoras de Nitrógeno y solubilizadoras de Fósforo, aumento de la producción de sideróforos,



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



incremento de la capacidad para el biocontrol de múltiples fitopatógenos, inducción de la respuesta sistémica y estimulación de la biosíntesis de hormonas vegetales. Por último, los múltiples compuestos que previenen frente a los daños causados por diversos estreses tanto bióticos como abióticos ayudarían a incrementar la producción agronómica bajo condiciones de cultivo desfavorables. Por tanto, la adición a las plantas de este biofertilizante en las dosis recomendadas por el fabricante resultaría en una mejora importante de los cultivos agrícolas desde esta triple perspectiva ya que incrementa el estado nutricional de los cultivos, promueve el desarrollo vegetativo y mejora la adaptación de las plantas al estrés. Por lo que, en línea con las nuevas tendencias en relación con la mejora de la nutrición vegetal, el empleo como biofertilizante del CMS-LignoActiv enriquecido en inductores vegetales mejoraría la producción agronómica en diversos cultivos vegetales de forma eficaz, sostenible y respetuosa con el medio ambiente

**Firmado:**

David Correa Galeote

Coinvestigador principal

CORREA  
GALEOTE  
DAVID -  
74729983Q

Firmado  
digitalmente por  
CORREA GALEOTE  
DAVID - 74729983Q  
Fecha: 2024.12.10  
14:00:48 +01'00'

Jesús González López

Investigador principal

GONZALEZ  
LOPEZ  
JESUS JUAN  
- 30411031V

Firmado  
digitalmente por  
GONZALEZ LOPEZ  
JESUS JUAN -  
30411031V  
Fecha: 2024.12.11  
10:49:30 +01'00'



## Referencias

- Ahmad, M., Akhtar, M. F. U. Z., Jamil, M., Latif, M., & Ahmad, I. (2015). Pesticide tolerant plant growth promoting rhizobacteria isolated from rhizosphere of okra. *Soil & Environment*, 34(2).
- Ali, F., Qanmber, G., Wei, Z., Yu, D., Li, Y. H., Gan, L., et al. (2020). Genome-wide characterization and expression analysis of geranylgeranyl diphosphate synthase genes in cotton (*Gossypium* spp.) in plant development and abiotic stresses. *BMC genomics*, 21, 1-15.
- Alsoufi, A. S., Staśkiewicz, K., & Markowski, M. (2021). Alterations in oleanolic acid and sterol content in marigold (*Calendula officinalis*) hairy root cultures in response to stimulation by selected phytohormones. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(3), 44.
- Andrade Ayala, M. D. C. N., Hernández Castillo, F. D., Laredo Alcala, E. I., Ledezma Pérez, A. S., Alvarado Canché, C. N., & Romero García, J. (2020). Efecto biológico de nanopartículas cargadas con ácido indolacético microbiano en parámetros morfométricos de tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3), 507-517.
- Avidan, O., Brandis, A., Rogachev, I., & Pick, U. (2015). Enhanced acetyl-CoA production is associated with increased triglyceride accumulation in the green alga *Chlorella desiccata*. *Journal of experimental botany*, 66(13), 3725-3735.
- Ayala-Rodríguez, J. Á., Barrera-Ortiz, S., Ruiz-Herrera, L. F., & López-Bucio, J. (2017). Folic acid orchestrates root development linking cell elongation with auxin response and acts independently of the target of rapamycin signaling in *Arabidopsis thaliana*. *Plant science*, 264, 168-178.
- Bawa, S., Kumar, S., Drabu, S., & Kumar, R. (2009). Synthesis and antimicrobial activity of 2-chloro-6-methylquinoline hydrazone derivatives. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 1(1), 27-31.
- Bondi, C. A., Marks, J. L., Wroblewski, L. B., Raatikainen, H. S., Lenox, S. R., & Gebhardt, K. E. (2015). Human and environmental toxicity of sodium lauryl sulfate (SLS): evidence for safe use in household cleaning products. *Environmental health insights*, 9, EHI-S31765.
- Brito, O. D., Ferreira, J. C., Hernandes, I., da Silva, E. J., & Dias-Arieira, C. R. (2020). Management of *Meloidogyne javanica* on tomato using agro-industrial wastes. *Nematology*, 22(10), 1141-1154.
- Burnet, M., & Hodgson, B. (1991). Differential effects of the sulfonylurea herbicides chlorsulfuron and sulfometuron methyl on microorganisms. *Archives of Microbiology*, 155, 521-525.
- Carmona, P. A. O., Pinheiro, J. B., Amaro, G. B., Silva, G. O. D., Peixoto, J. R., & Cares, J. E. (2020). Resistance sources to root-knot nematodes *Meloidogyne javanica*, *M. incognita* and *M. enterolobii* in sweet potato. *Horticultura Brasileira*, 38, 126-133.



- Chadwick, M., Trewin, H., Gawthrop, F., & Wagstaff, C. (2013). Sesquiterpenoids lactones: benefits to plants and people. *International journal of molecular sciences*, 14(6), 12780-12805.
- Cheenpracha, S., Ritthiwigrom, T., & Laphookhieo, S. (2013). Alstoniaphyllines A–C, unusual nitrogenous derivatives from the bark of *Alstonia macrophylla*. *Journal of Natural Products*, 76(4), 723-726.
- Chen, Y., Yan, T., Gao, C., Cao, W., & Huang, R. (2014). Natural products from the genus *Tephrosia*. *Molecules*, 19(2), 1432-1458.
- Chen, H., Bullock Jr, D. A., Alonso, J. M., & Stepanova, A. N. (2021). To fight or to grow: The balancing role of ethylene in plant abiotic stress responses. *Plants*, 11(1), 33.
- Conart, C., Bomzan, D. P., Huang, X. Q., Bassard, J. E., Paramita, S. N., Saint-Marcoux, D., et al. (2023). A cytosolic bifunctional geranyl/farnesyl diphosphate synthase provides MVA-derived GPP for geraniol biosynthesis in rose flowers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(19), e2221440120.
- Corkidi, L., Bohn, J., & Evans, M. (2009). Effects of bifenthrin on mycorrhizal colonization and growth of corn. *HortTechnology*, 19(4), 809-812.
- Cowan, A. K. (2006). Phospholipids as plant growth regulators. *Plant Growth Regulation*, 48, 97-109.
- Cui, J. L., Gao, X. Y., Vijayakumar, V., Guo, Z. X., Wang, M. L., Wang, J. H., & Liu, L. (2020). Regulation by fungal endophyte of *Rhodiola crenulata* from enzyme genes to metabolites based on combination of transcriptome and metabolome. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(12), 4483-4494.
- Barja, M. V., & Rodriguez-Concepcion, M. (2021). Plant geranylgeranyl diphosphate synthases: every (gene) family has a story. *Abiotech*, 2(3), 289-298.
- Bergamasco, E., Peron, G., Venerando, A., Polash, S. A., Shukla, R., Sut, S., ... & Masi, A. (2022). Investigation of sulfur-containing compounds in spears of green and white *Asparagus officinalis* through LC-MS and HS-GC–MS. *Food Research International*, 162, 111992.
- El-Beltagi, H. S., Ahmad, I., Basit, A., Shehata, W. F., Hassan, U., Shah, S. T., et al. (2022). Ascorbic acid enhances growth and yield of sweet peppers (*Capsicum annuum*) by mitigating salinity stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(2), 423-433.
- Ezquerro, M., Li, C., Pérez-Pérez, J., Burbano-Erazo, E., Barja, M. V., Wang, Y., et al. (2023). Tomato geranylgeranyl diphosphate synthase isoform 1 is involved in the stress-triggered production of diterpenes in leaves and strigolactones in roots. *New Phytologist*, 239(6), 2292-2306.



Farghaly, F. A., Salam, H. K., Hamada, A. M., & Radi, A. A. (2021). The role of benzoic acid, gallic acid and salicylic acid in protecting tomato callus cells from excessive boron stress. *Scientia Horticulturae*, 278, 109867.

Fatimi, A. (2022). Sodium tetradecyl sulfate molecule: Patent analysis based on chemical compounds search. *Engineering Proceedings*, 19(1), 4.

Ghorbel, M., Brini, F., Sharma, A., & Landi, M. (2021). Role of jasmonic acid in plants: the molecular point of view. *Plant Cell Reports*, 40, 1471-1494.

Hamberg, M. (1999). An epoxy alcohol synthase pathway in higher plants: biosynthesis of antifungal trihydroxy oxylipins in leaves of potato. *Lipids*, 34(11), 1131-1142.

Hedden, P., & Sponsel, V. (2015). A century of gibberellin research. *Journal of plant growth regulation*, 34, 740-760.

Hernández-García, J., Briones-Moreno, A., & Blázquez, M. A. (2021, January). Origin and evolution of gibberellin signaling and metabolism in plants. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 109, pp. 46-54). Academic Press.

Hou, C., Kulka, M., Zhang, J., Li, Y., & Guo, F. (2014). Occurrence and biological activities of eremophilane-type sesquiterpenes. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 14(8), 664-677.

Hsieh, T. F., Shen, Y. M., Huang, J. H., Tsai, J. N., Lu, M. T., & Lin, C. P. (2023). Insights into Grape Ripe Rot: A Focus on the *Colletotrichum gloeosporioides* Species Complex and Its Management Strategies. *Plants*, 12(15), 2873.

Humbal, A., & Pathak, B. (2023). Influence of Exogenous Elicitors on the Production of Secondary Metabolite in Plants: A review ("VSI: Secondary Metabolites"). *Plant Stress*, 100166.

Ibrahim, M. F. M., Ibrahim, H. A., & Abd El-Gawad, H. G. (2021). Folic acid as a protective agent in snap bean plants under water deficit conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(1), 94-109.

Ibrahim, H. A., Heba, S., & Hassan, N. M. (2022). Impact on growth, yield and nutritional status of tomato plants grown in saline soil by vermicompost and ascorbic acid. *Int. J. Health Sci*, 6, 10134-10143.

Jessing, K. K., Juhler, R. K., & Strobel, B. W. (2011). Monitoring of artemisinin, dihydroartemisinin, and artemether in environmental matrices using high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(21), 11735-11743.

Kachroo, A., Venugopal, S. C., Lapchyk, L., Falcone, D., Hildebrand, D., & Kachroo, P. (2004). Oleic acid levels regulated by glycerolipid metabolism modulate defense gene expression in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(14), 5152-5157.



Klečka, G. M., Carpenter, C. L., & Gonsior, S. J. (1998). Biological transformations of 1, 2-dichloroethane in subsurface soils and groundwater. *Journal of contaminant hydrology*, 34(1-2), 139-154.

Kumar, S. R., Rai, A., Bomzan, D. P., Kumar, K., Hemmerlin, A., Dwivedi, V., et al. (2020). A plastid-localized bona fide geranylgeranyl diphosphate synthase plays a necessary role in monoterpene indole alkaloid biosynthesis in *Catharanthus roseus*. *The Plant Journal*, 103(1), 248-265.

Lebreton, L., Guillerm-Erckelboudt, A. Y., Gazengel, K., Linglin, J., Ourry, M., Glory, P., et al. (2019). Temporal dynamics of bacterial and fungal communities during the infection of *Brassica rapa* roots by the protist *Plasmodiophora brassicae*. *PLoS One*, 14(2), e0204195.

Lee, J. D., Woolard, M., Sleper, D. A., Smith, J. R., Pantalone, V. R., Nyinyi, C. N., et al. (2009). Environmental effects on oleic acid in soybean seed oil of plant introductions with elevated oleic concentration. *Crop science*, 49(5), 1762-1768.

Lefevre, H., Bauters, L., & Gheysen, G. (2020). Salicylic acid biosynthesis in plants. *Frontiers in plant science*, 11, 338.

Lei, C., Bagavathiannan, M., Wang, H., Sharpe, S. M., Meng, W., & Yu, J. (2021). Osmopriming with polyethylene glycol (PEG) for abiotic stress tolerance in germinating crop seeds: A review. *Agronomy*, 11(11), 2194.

Lv, H., & She, G. (2010). Naturally occurring diarylheptanoids. *Natural product communications*, 5(10), 1934578X1000501035.

Mejías, C., Martín, J., Santos, J. L., Aparicio, I., Sánchez, M. I., & Alonso, E. (2022). Development and validation of a highly effective analytical method for the evaluation of the exposure of migratory birds to antibiotics and their metabolites by faeces analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 414(11), 3373-3386.

Michalska, K., & Kisiel, W. (2013). Structural diversity of sesquiterpene lactones in roots of *Lactuca viminea*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 51, 16-18.

Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Makoudi, B., Kabbadj, A., Very, A. A., et al. (2016). Osmopriming improves seeds germination, growth, antioxidant responses and membrane stability during early stage of Moroccan alfalfa populations under water deficit. *Chilean journal of agricultural research*, 76(3), 265-272.

Mushtaq, Z., Asghar, H. N., Zahir, Z. A., & Maqsood, M. (2022). The interactive approach of rhizobacteria and l-tryptophan on growth, physiology, tuber characteristics, and iron concentration of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(3), 1359-1366.

Naor, N., Gurung, F. B., Ozalvo, R., Bucki, P., Sanadhya, P., & Miyara, S. B. (2018). Tight regulation of allene oxide synthase (AOS) and allene oxide cyclase-3 (AOC3) promote



*Arabidopsis* susceptibility to the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *European journal of plant pathology*, 150, 149-165.

Naz, S., Mushtaq, A., Ali, S., Muhammad, H. M. D., Saddiq, B., Ahmad, R., et al. (2022). Foliar application of ascorbic acid enhances growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa*) under saline conditions by improving antioxidant defence mechanism. *Functional Plant Biology*.

Nolan, T. M., Brennan, B., Yang, M., Chen, J., Zhang, M., Li, Z., et al. (2017). Selective autophagy of BES1 mediated by DSK2 balances plant growth and survival. *Developmental cell*, 41(1), 33-46.

Nonthakaew, N., Panbangred, W., Songnuan, W., Intra, B. (2022). Plant growth-promoting properties of *Streptomyces* spp. isolates and their impact on mung bean plantlets' rhizosphere microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 13, 967415.

Omar, A., Zayed, B., Abdel Salam, A., Hafez, Y. M., Abdelaal, K. A. A. (2020). Folic acid as foliar application can improve growth and yield characters of rice plants under irrigation with drainage water. *Fresenius Environ. Bull*, 29(10), 9420-9428.

Ortega-Martínez, L. D., Mendoza, J. O., Valenzuela, C. M., Serrano, A. P., & Olarte, J. S. (2013). Efecto de las giberelinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de tomate. *Biotecnia*, 15(3), 56-60.

Rahmansyah, M., Agustiyani, D., Julistiono, H., & Dewi, T. K. (2012). Growth and adaptation of four *Streptomyces* isolates in the media containing propoxur. *Research Center for Biology, Indonesian Institute of Sciences Cibinong Science Center, Jalan Raya Jakarta Bogor, Cibinong, Indonesia*.

Rajaofera, M. J. N., Wang, Y., Dahar, G. Y., Jin, P., Fan, L., Xu, L., et al. (2019). Volatile organic compounds of *Bacillus atrophaeus* HAB-5 inhibit the growth of *Colletotrichum gloeosporioides*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 156, 170-176.

Rajendran, S., Robertson, L. P., Kosgahakumbura, L., Fernando, C., Göransson, U., Wang, H., et al. (2023). Antibacterial eremophilane sesquiterpenoids from *Xylaria feejeensis*, an endophytic fungi of the medicinal plant *Geophila repens*. *Fitoterapia*, 167, 105496.

Rehmani, M. S., Chen, Q., Yan, J., Cui, X., Gao, S., Niu, F., ... & Jiang, Y. Q. (2019). A novel stress-responsive BnaNAL1 transcriptional activator in oilseed rape positively modulates reactive oxygen species production and cell death. *Environmental and Experimental Botany*, 163, 1-14.

Ruelland, E., Kravets, V., Derevyanchuk, M., Martinec, J., Zachowski, A., & Pokotylo, I. (2015). Role of phospholipid signalling in plant environmental responses. *Environmental and Experimental Botany*, 114, 129-143.





- Saad, M. M., Algamal, M. A., & Abdelgaleil, S. A. (2013). Effect of artemisinin and its derivatives on germination and seedling growth of three weed species. *Alex J Agric Res*, 58, 287-294.
- Saeed, M., Mukhtar, T., Ahmed, R., Ahmad, T., & Iqbal, M. A. (2023). Suppression of *Meloidogyne javanica* infection in peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) using fungal biocontrol agents. *Sustainability*, 15(18), 13833.
- Salari, Z., Alavi, M., Rezaii-Zadeh, H., Bouyahya, A., Alfergah, A., & Amiri-Ardekani, E. (2024). Alnustone: A review of its sources, pharmacology, and pharmacokinetics. *Current Molecular Pharmacology*.
- Saleem, Y., Ali, A., Naz, S., Jamil, M., & Naveed, N. H. (2022). Amelioration of lead toxicity by ascorbic acid in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under in vitro condition. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(56), 85160-85171.
- Salvatori, E., Rauseo, J., Patrolecco, L., Barra Caracciolo, A., Spataro, F., Fusaro, L., & Manes, F. (2021). Germination, root elongation, and photosynthetic performance of plants exposed to sodium lauryl ether sulfate (SLES): an emerging contaminant. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 27900-27913.
- Shah, S. H., Islam, S., & Mohammad, F. (2022). Sulphur as a dynamic mineral element for plants: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2118-2143.
- Shiekh, K. A., Benjakul, S., & Sae-Leaw, T. (2019). Effect of Chamuang (*Garcinia cowa* Roxb.) leaf extract on inhibition of melanosis and quality changes of Pacific white shrimp during refrigerated storage. *Food chemistry*, 270, 554-561.
- Singh, A., Gupta, R., & Pandey, R. (2017). Exogenous application of rutin and gallic acid regulate antioxidants and alleviate reactive oxygen generation in *Oryza sativa* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23, 301-309.
- Srivastava, P. C., Singh, R. K., Srivastava, P., & Shrivastava, M. (2012). Utilization of molasses based distillery effluent for fertigation of sugarcane. *Biodegradation*, 23, 897-905.
- Suárez-Moreno, Z. R., Vinchira-Villarraga, D. M., Vergara-Morales, D. I., Castellanos, L., Ramos, F. A., Guarnaccia, C., et al. (2019). Plant-growth promotion and biocontrol properties of three *Streptomyces* spp. isolates to control bacterial rice pathogens. *Frontiers in microbiology*, 10, 422554.
- Suganya, K., & Rajannan, G. (2009). Effect of onetime post-sown and pre-sown application of distillery spentwash on the growth and yield of maize crop. *Botany Research International*, 2(4), 288-294.
- Sugimoto, K., Allmann, S., & Kolomiets, M. V. (2022). Oxylipins: The front line of plant interactions. *Frontiers in Plant Science*, 13, 878765.



Sultana, T., Mitra, A. K., & Das, S. (2021). Antimicrobial Action Of Mangrove Plant Extracts Against Salmonella Typhi And Candida Parapsilosis Characterised By Their Antioxidant Potentials And Bioactive COMPOUNDS. *prevalence*, 15, 16.

Takahashi, K., Terauchi, I., Ono, M., Satoh, H., & Ueda, M. (2018). Microbial production of neryl- $\alpha$ -D-glucopyranoside from nerol by *Agrobacterium* sp. M-12 reflects glucosyl transfer activity. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(12), 2205-2211.

Ul Hassan, T., & Bano, A. (2015). The stimulatory effects of L-tryptophan and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on soil health and physiology of wheat. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(1), 190-201.

Ullah, C., Chen, Y. H., Ortega, M. A., & Tsai, C. J. (2023). The diversity of salicylic acid biosynthesis and defense signaling in plants: Knowledge gaps and future opportunities. *Current Opinion in Plant Biology*, 72, 102349.

Vostrikova, T. V., Kalaev, V. N., Potapov, A. Y., Manakhelokhe, G. M., & Shikhaliyev, K. S. (2021). Use of new compounds of the quinoline series as growth and yield stimulants of agricultural crop. *Periodico Tche Quimica*, 18(38).

Vurukonda, S. S. K. P., Giovanardi, D., & Stefani, E. (2018). Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 952.

Wang, L., Cheng, L., Ma, L., Ahmad Farooqi, A., Qiao, G., Zhang, Y., et al. (2022). Alnustone inhibits the growth of hepatocellular carcinoma via ROS-mediated PI3K/Akt/mTOR/p70S6K axis. *Phytotherapy Research*, 36(1), 525-542.

Wasternack, C., & Hause, B. (2019). The missing link in jasmonic acid biosynthesis. *Nature Plants*, 5(8), 776-777.

Wu, J., Cao, M., Jia, Z., Zhu, X., Zhou, Y., Dong, Y., et al. (2024). Synergistic mechanism of stir-baked curcumae radix with vinegar in dysmenorrhea rats based on UPLC-Q-TOF/MS metabolomics. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 240, 115944.

Xu, Z. P., Algradi, A. M., Liu, Y., Wang, S. Y., Jiang, Y. K., Guan, W., et al (2022). Bioactive lipids from the fruits of *Solanum xanthocarpum* and their anti-inflammatory activities. *Fitoterapia*, 157, 105134.

Yan, L., Fang, Z., Zhang, N., Yang, L., Zhang, Y., Zhuang, M., et al. (2023). Genome-Wide Identification, Characterization, and Expression Analysis of the Geranylgeranyl Pyrophosphate Synthase (GGPPS) Gene Family Reveals Its Importance in Chloroplasts of *Brassica oleracea* L. *Agriculture*, 13(8), 1615.

Yi, Y., Wu, M., Zhou, X., Xiong, M., Tan, Y., Yu, H., et al. (2022). Ascorbic acid 2-glucoside preconditioning enhances the ability of bone marrow mesenchymal stem cells in promoting wound healing. *Stem Cell Research & Therapy*, 13(1), 1-17.



Yue, H., Zhao, Y., Ma, X., & Gong, J. (2012). Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(11), 4218-4244.

Zahra, N., Wahid, A., Hafeez, M. B., Lalarukh, I., Batool, A., Uzair, M., et al. (2022). Effect of salinity and plant growth promoters on secondary metabolism and growth of milk thistle ecotypes. *Life*, 12(10), 1530.

Zenda, T., Liu, S., Dong, A., & Duan, H. (2021). Revisiting sulphur—The once neglected nutrient: It's roles in plant growth, metabolism, stress tolerance and crop production. *Agriculture*, 11(7), 626.

Zhang, J. W., Li, S. K., & Wu, W. J. (2009). The main chemical composition and in vitro antifungal activity of the essential oils of *Ocimum basilicum* Linn. var. *pilosum* (Willd.) Benth. *Molecules*, 14(1), 273-278.

Zhang, S., Nie, L., Zhao, W., Cui, Q., Wang, J., Duan, Y., & Ge, C. (2019). Metabolomic analysis of the occurrence of bitter fruits on grafted oriental melon plants. *Plos one*, 14(10), e0223707.

Zita, W., Shanmugabalaji, V., Ezquerro, M., Rodriguez-Concepcion, M., Kessler, F., & Glauser, G. (2023). A quantitative method to measure geranylgeranyl diphosphate (GGPP) and geranylgeranyl monophosphate (GGP) in tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. *Plant Methods*, 19(1), 1-8.



## Análisis de compuestos bioactivos del CMS-LignoActiv de Azucarera del Guadalfeo

### Determinación del efecto promotor del rendimiento agrícola del producto CMS-LignoActiv

La determinación del efecto promotor del crecimiento vegetal del producto CMS-LignoActiv se ha determinado de acuerdo con la normativa europea ratificada UNE-CEN/TS 17700-1:2022 “Bioestimulante de plantas” propuesto por la Agencia Española de Normalización para la caracterización de la mejora del crecimiento vegetal de un producto bioestimulante. De acuerdo a esta norma, el efecto estimulante sobre el desarrollo vegetal del producto CMS-LignoActiv se determinó en diferentes especies agrícolas en estudios de campo agrupados en cultivos leñosos perennes, hortalizas y cultivos de amplia producción o cultivos “broadacre” para poder interpolar los resultados obtenidos en la mejora del uso eficiente de los nutrientes disponibles al conjunto de las especies vegetales. De acuerdo con Dymond et al. (2021), la eficiencia de la suplementación con el producto bioestimulante a ensayar se determinó como el peso promedio de la fruta, el número de piezas recolectadas por árbol y el rendimiento de los cultivos por unidad de producción, lo que en definitiva refleja un mejor estado nutricional de los vegetales, lo que se traduce en un mejor rendimiento de las cosechas. Las diferencias entre los datos de los parámetros fisiológicos obtenidos se determinaron mediante el test estadístico de Mann-Whitney ( $\alpha = 0,15$ ) de acuerdo a lo establecido en la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022.

### Análisis del efecto estimulante de la producción frutícola en cultivos leñosos perennes.

La eficacia del producto CMS-LignoActiv fue evaluado en tres cultivos leñosos perennes: aguacate (*Persea americana* variedad Hass), chirimoyo (*Annona cherimola* variedad Fino de Jete) y mango (*Mangifera indica* Tommy atkins). De acuerdo a la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022, se evaluó el efecto promotor del desarrollo vegetal en 6 plantas control (no adicionadas del producto CMS-LignoActiv) y en 6 plantas suplementadas con 50 mL de CMS-LignoActiv de acuerdo a la dosis recomendada por el fabricante.

De acuerdo a la tabla 1 y figura 1, el número de piezas de fruta con capacidad para ser comercializadas por árbol en las plantas de aguacate fue estadísticamente superior en el caso de las plantas sometidas a fertilización con el producto CMS-LignoActiv (11,00 para plantas no suplementadas y 11,83 para las plantas suplementadas) respecto a las plantas control (no adición de CMS-LignoActiv) de acuerdo al test estadístico de Mann-Whitney, por lo que la adición del bioestimulante resultó en la producción de frutos con mayor peso. Además, el peso promedio de los aguacates fue de 329,94 g para las plantas sin tratamiento con el producto bioestimulante y de 361,70 g para las plantas adicionadas de CMS-LignoActiv, lo que representa un aumento significativo del peso promedio por pieza del 9,63%. Por otra parte, el rendimiento por árbol fue estadísticamente más elevado en las plantas adicionadas del producto CMS-LignoActiv, incrementándose la cosecha por árbol en un 17,69%, lo que representó un



promedio de 3,74 Kg para las plantas de aguacates tratadas frente a 4,40 Kg de las plantas suplementadas con el producto CMS-LignoActiv.

A su vez, de forma similar a lo observado para el número de aguacates cosechados, hubo una variación significativa en el número de unidades cosechadas para las plantas de chirimoyo (17,17 unidades/árbol para las plantas control frente a 17,50 para las plantas tratadas con el producto bioestimulante). Además, el peso promedio de las chirimoyas de las plantas no suplementadas con el producto CMS-LignoActiv fue de 701,70 g mientras que el peso promedio de esta fruta bajo la aplicación del CMS-LignoActiv fue de 800,07 g. Por tanto, el peso promedio fue estadísticamente más elevado para las chirimoyas suplementadas con el CMS-LignoActiv de acuerdo al test de Mann-Whitney, incrementándose el peso promedio de esta fruta en un 14,02%. De forma similar, el rendimiento medio por árbol para las plantas control de chirimoyo fue de 12,28 Kg y para las plantas suplementadas de 14,80 Kg, lo que supone un aumento estadísticamente significativo de la cosecha por unidad de producción del 20,53% para las plantas adicionadas del producto evaluado respecto a los rendimientos obtenidos para las plantas control.

El número de piezas recolectadas en los pies pertenecientes a las plantas de mango suplementadas con el producto CMS-LignoActiv respecto a las plantas no suplementadas experimentó un considerable aumento, ya que el número de piezas con capacidad para ser comercializadas fue de 5,50 y 6,17 para los árboles no tratados y tratados, respectivamente. Esto supone un incremento significativo de su producción por piezas en un 21,36%. En este sentido, el peso promedio de las piezas de mango para las plantas control fue de 518,27 g, mientras que para las plantas suplementadas el peso promedio fue de 538,63 g, lo que resulta en un aumento estadísticamente significativo del peso promedio de las frutas del 6,28% en las plantas crecidas en presencia de bioestimulante respecto a los pesos promedios de las plantas crecidas en ausencia del coproducto. De este modo, la adición del suplemento nutricional CMS-LignoActiv mejora la capacidad de producción frutícola por cada planta de mango, ya que la producción por árbol fue de 3,55 Kg y de 4,20 Kg por árbol para las plantas no suplementadas y las suplementadas con el CMS-LignoActiv, respectivamente, lo que supuso un aumento estadísticamente significativo del rendimiento del 21,45% para cada uno de los árboles ensayados.

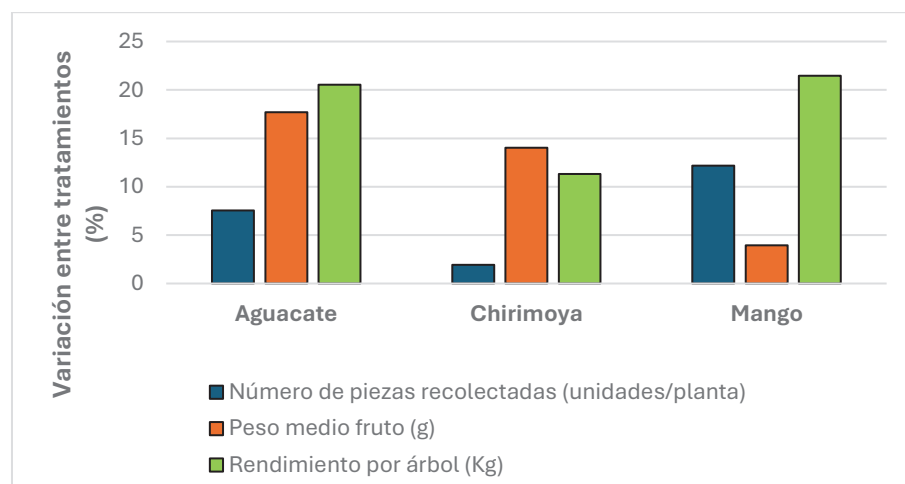
De este modo, independientemente, del tipo de cultivo leñoso analizado existió un incremento significativo en el número de piezas con calidad suficiente para su comercialización en el momento de la cosecha. A su vez, el peso promedio de las piezas recolectadas fue estadísticamente superior en los distintos tipos de árboles tratados con CMS-LignoActiv. Por tanto, el incremento del número de piezas recolectadas con un mayor peso deriva en un aumento del rendimiento de la cosecha por árbol del 11,30% del aguacate, del 20,53% para la chirimoya y del 21,45% para el mango. Por tanto, la suplementación con el CMS-LignoActiv es una herramienta útil para alcanzar un mayor desarrollo vegetal en el ámbito de la producción hortofrutícola en plantas leñosas de acuerdo a la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022; lo que, junto con la capacidad de prevenir la caída de las piezas de reproducción, tal como indica el incremento en el número de frutos por árbol, resulta en cultivos con una mayor capacidad de producción y, por tanto, con un mayor rendimiento económico.

Tabla 1. Promedio del peso de los frutos, número de piezas y rendimiento en peso por unidad de producción para los árboles de aguacate, chirimoyo y mango suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (50 mL por plantas).

Letras A y B indican diferencias significativas ( $\alpha = 0,15$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con el CMS-LignoActiv de acuerdo al test de Kruskal-Wallis.

		Número de piezas recolectadas (unidades/planta)	Peso medio fruto (g)	Rendimiento por árbol (Kg)
Aguacate	Control (No CMS-LignoActiv)	11,00 ± 1,79 B	329,94 ± 57,58 B	3,74 ± 0,42 B
	Suplementado (+50 mL CMS-LignoActiv)	11,83 ± 2,14 A	361,70 ± 54,09 A	4,40 ± 0,612 A
Chirimoya	Control (No CMS-LignoActiv)	17,17 ± 3,19 B	701,70 ± 228,73 B	12,28 ± 2,19 B
	Suplementado (+50 mL CMS-LignoActiv)	17,50 ± 2,88 A	800,07 ± 228,70 A	14,80 ± 2,36 A
Mango	Control (No CMS-LignoActiv)	5,50 ± 1,05 B	518,27 ± 68,12 B	3,55 ± 1,66 B
	Suplementado (+50 mL CMS-LignoActiv)	6,17 ± 0,98 A	538,63 ± 81,04 A	4,20 ± 1,85 A

Figura 1 Variación en los parámetros de rendimiento entre las plantas suplementadas y no suplementadas con el producto CMS-LignoActiv para las plantas leñosas.





### **Análisis del efecto estimulante de la producción frutícola en cultivos de hortalizas**

La eficacia del producto CMS-LignoActiv fue evaluado en tres cultivos de interés hortícola: pimiento (*Capsicum annuum*, variedad dulce italiano F1), tomate (*Lycopersicon esculentum*, variedad gordo rastrero) y berenjena (*Solanum melongena*, variedad negra redonda). De acuerdo con la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022, se evaluó el efecto promotor del desarrollo vegetal en 4 parcelas independientes no adicionadas del producto CMS-LignoActiv (plantas control) y en otras 4 parcelas en las que se implementó la adición de CMS-LignoActiv para cada uno de los tres cultivos, cada una de estas parcelas con una superficie independiente de 12,5 m<sup>2</sup> y sembradas en un marco de plantación de 50 x 80 cm, lo que resultó en 18 plantas por unidad de ensayo. La suplementación con el producto CMS-LignoActiv se realizó siguiendo la dosis recomendada por el fabricante (300 L por hectárea, lo que resulta en 3.750 ml por parcela) y se implementó una fertilización básica (200-100-300 UF de NPK), tanto en las parcelas control como en las suplementadas. La eficiencia de la suplementación con CMS-LignoActiv se determinó el número de piezas recolectadas por planta, como el peso promedio de las hortalizas recolectadas y aptas para su venta y el rendimiento de los cultivos por área de producción según lo descrito por Bona et al. (2017).

De acuerdo a la tabla 2 y figura 2, el número de piezas con calidad suficiente para su comercialización en el momento de la cosecha de berenjena fue superior en las parcelas suplementadas con CMS-LignoActiv (promedio de 7,16 unidades) respecto a las no suplementadas (promedio de 6,63 unidades); si bien, este incremento no fue estadísticamente significativo a pesar de que la suplementación con el coproducto mejora en un 8,00% el número de hortalizas en las plantas suplementadas respecto a las plantas no tratadas. Sin embargo, el peso promedio de las piezas de berenjena recolectadas fue estadísticamente superior en las plantas suplementadas con CMS-LignoActiv respecto a las plantas crecidas en ausencia del bioestimulante, así se observa un peso promedio superior en un 10,48% para los vegetales suplementados; lo que manifiesta la capacidad de este producto para estimular la nutrición de las plantas de modo general y de forma particular en la obtención de productos agrícolas con mejores calidades en término de producción. Así, esta mejora del estado general de las hortalizas redundará en un mayor rendimiento agronómico; de este modo, el rendimiento de la cosecha por planta y por hectárea fue del 24,40% y del 19,11%, respectivamente.

Por otro lado, el número de unidades de pimiento recolectadas por plantas presenta diferencias estadísticamente significativas entre los vegetales crecidos en ausencia y presencia del producto ensayado, observándose un incremento del 9,82% en el número de piezas crecidas en presencia de CMS-LignoActiv en relación con las plantas control (promedio de 6,01 y 6,60 unidades por plantas en las parcelas no suplementadas y suplementadas con CMS-LignoActiv, respectivamente). A su vez, se observa un peso promedio estadísticamente superior en los pimientos recolectados en presencia del coproducto, pasando de un peso promedio de 127,61 g en las plantas control a 137,99 g en las plantas suplementadas con CMS-LignoActiv. De este modo, este aumento significativo en el número de piezas y en el peso promedio de las plantas de pimiento suplementadas con el biofertilizante resulta en una mayor capacidad de producción expresada tanto en Kg por planta como por hectárea, aumentándose esta producción en un 11,54% y un 14,74%, respectivamente.

En último lugar, las unidades de producción recolectadas fueron de 8,08 tomates por planta en las parcelas no suplementadas con CMS-LignoActiv y de 8,58 tomates por planta para las parcelas suplementadas con CMS-LignoActiv, lo que supone una producción significativamente mayor (6,19%) cuando las tomateras se crecen en presencia del producto ensayado de acuerdo a las condiciones de dosis establecidas por el fabricante. Por otro lado, en concordancia con este hecho, el peso promedio de los tomates recolectados fue significativo estadísticamente, aumentándose en un 5,09% el peso promedio en las plantas suplementadas respecto a las plantas control. Incrementos en el número de tomates y su peso promedio que se traducen en un aumento significativo en el rendimiento de los cultivos cuando las plantas de tomate son crecidas bajo la suplementación con CMS-LignoActiv, aumentándose el rendimiento por plana y por hectárea en el 9,92% y 14,74%, respectivamente.

Tabla 2. Promedio del peso de los frutos, número de piezas y rendimiento en peso por unidad de producción y por hectárea para las hortalizas ensayadas (berenjena, pimiento y tomate) suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (300 L por hectárea).

Letras A y B indican diferencias significativas ( $\alpha = 0,15$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con el CMS-LignoActiv de acuerdo al test de Kruskal-Wallis.

		Número de piezas recolectadas (unidades/planta)	Peso medio fruto (g)	Rendimiento por planta (Kg)	Rendimiento por Ha (Kg)
Berenjena	Control (No CMS-LignoActiv)	6,63 ± 2,00 A	439,85 ± 90,81 B	2,91 ± 1,07 B	42,07 ± 2,94 B
	Suplementado (+300 L CMS-LignoActiv)	7,16 ± 2,04 A	485,94 ± 88,15 A	3,62 ± 1,03 A	50,11 ± 1,60 A
Pimiento	Control (No CMS-LignoActiv)	6,01 ± 1,31 B	127,61 ± 13,96 B	1,04 ± 0,25 B	14,86 ± 1,03 B
	Suplementado (+300 L CMS-LignoActiv)	6,60 ± 1,32 A	137,99 ± 10,54 A	1,16 ± 0,26 A	17,05 ± 1,29 A
Tomate	Control (No CMS-LignoActiv)	8,08 ± 2,28 B	158,32 ± 15,51 B	1,21 ± 0,30 B	13,72 ± 0,94 B
	Suplementado (+300 L CMS-LignoActiv)	8,58 ± 2,38 A	166,38 ± 17,07 A	1,33 ± 0,33 A	15,81 ± 1,04 A



De acuerdo a estos datos, la adición del producto CMS-LignoActiv en las dosis recomendadas por el fabricante mejora la respuesta global de plantas hortícolas ya que aumenta tanto el número de piezas como su peso promedio, lo que resulta en un prometedor aumento del rendimiento agronómico en general en las hortalizas expresado tanto planta como por hectárea, lo que es fundamental para un adecuado rendimiento económico de estos cultivos. Este aumento significativo en la producción agrícola de acuerdo con la norma UNE-CEN/TS 17700-1:2022 indica la capacidad de estimulación del crecimiento vegetal de las distintas plantas hortícolas cuando se realiza una fertilización que incluye CMS-LignoActiv como agente bioestimulante del crecimiento vegetal, lo que finalmente se traduce en un mayor rendimiento de los cultivos y, por consecuencia, una mejora económica derivada de la comercialización de las hortalizas.

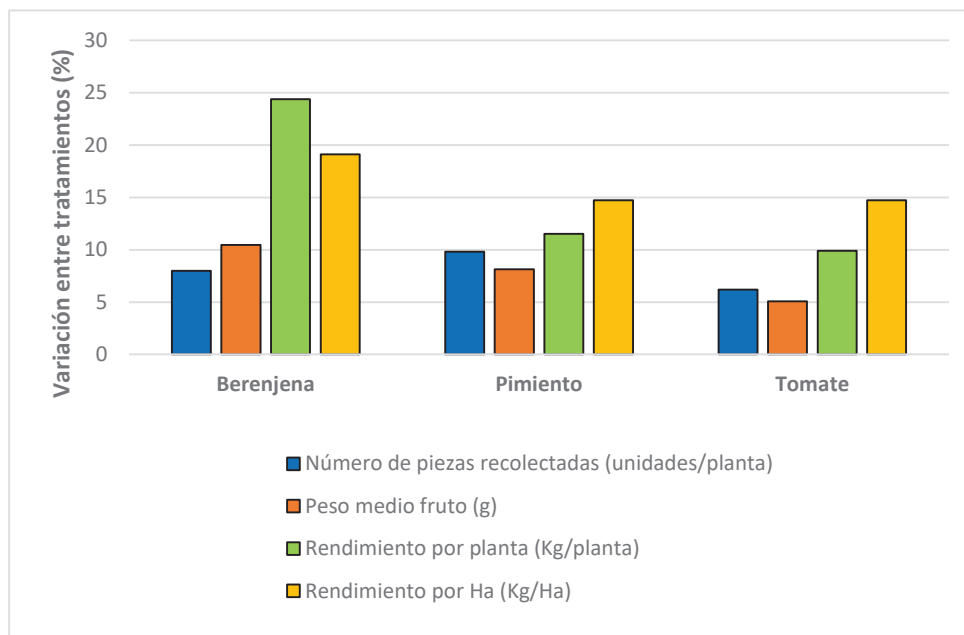


Figura 2. Variación en los parámetros de rendimiento entre las plantas suplementadas y no suplementadas con el producto CMS-LignoActiv para cultivos hortícolas.

### Análisis del efecto estimulante de la producción frutícola en cultivos de hortalizas

La capacidad de estimulación del crecimiento vegetal se determinó en tres cultivos de larga escala o cultivos “broadacre”: maíz (*Zea mays*), guisante (*Pisum sativum*) y haba (*Vicia faba*). Este incremento de la eficacia del producto CMS-LignoActiv fue evaluado, de acuerdo a la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022, en 4 parcelas independientes no adicionadas del producto CMS-LignoActiv (plantas control) y en otras 4 parcelas en las que se implementó la adición de CMS-LignoActiv, con una superficie independiente de 20,0 m<sup>2</sup> y sembradas en un marco de plantación de 80 x 100 cm, lo que resultó en 18 plantas por unidad de ensayo. La suplementación del producto CMS-LignoActiv y el abonado se realizó de forma similar a lo



descrito para los cultivos de hortalizas. La eficiencia de la suplementación con CMS-LignoActiv se determinó el número de piezas recolectadas por planta, como el peso promedio de las hortalizas recolectadas y aptas para su venta y el rendimiento de los cultivos por área de producción, de acuerdo Chura & Tejada (2014).

De acuerdo a la tabla 3 y figura 3, el número de mazorcas fue similar entre las plantas crecidas en ausencia y presencia del producto CMS-LignoActiv (promedio de 2,02 y 2,04 unidades para las plantas de maíz no suplementadas y suplementadas con CMS-LignoActiv). Hay que indicar que el bajo número de flores femeninas producidas por esta especie vegetal hace posible que una mejora nutricional de las plantas de maíz no derive en un aumento de la floración y de su posterior fructificación. Por el contrario, el peso fresco promedio de las mazorcas fue estadísticamente superior en las plantas crecidas en condiciones de suplementación con CMS-LignoActiv (peso promedio 329,93 g) en comparación con las obtenidas cuando las plantas fueron crecidas en ausencia del producto ensayado (peso promedio 306,69 g), lo que supone una producción estadísticamente superior en condiciones de suplementación del 7,58%. Este aumento significativo en el peso promedio de las plantas suplementadas deriva en una mayor capacidad de producción por hectárea cuando al suelo se le adiciona la dosis de CMS-LignoActiv recomendada por el fabricante, incrementándose la cosecha en un valor estadísticamente significativo del 8,68%.

Por otro lado, el número de vainas de las plantas de guisante suplementadas con el coproducto aumentaron significativamente en un 5,31% en las plantas suplementadas respecto a las plantas control (promedio del número de vainas de 30,15 y 31,75 para las plantas de guisante crecidas en condiciones de no biofertilización y sí biofertilización con CMS-LignoActiv, respectivamente). A su vez, el peso promedio de las vainas fue ligeramente superior en las plantas crecidas en presencia del producto CMS-LignoActiv (promedio de 5,14 g por vaina) en comparación con las plantas control (promedio del peso de 4,88 g por vaina) ya que no existieron diferencias estadísticas entre estos pesos, lo cual podría deberse a que el aumento del número de vainas no es compatible con una mayor producción de biomasa. Sin embargo, el importante aumento en el número de vainas junto al ligero incremento del peso de estas cuando las plantas de guisante fueron crecidas en condiciones de suplementación con CMS-LignoActiv respecto a las plantas control crecidas en ausencia del biofertilizante resulta en un mayor rendimiento por hectárea (rendimiento promedio por hectárea del 1.411 Kg y de 1.566 Kg para las plantas crecidas en ausencia y presencia de CMS-LignoActiv, respectivamente), lo que supone un diferencia en el rendimiento del 10,99% entre ambos tratamientos.

Igualmente, la adición de CMS-LignoActiv favorece el desarrollo del número de vainas de las plantas de haba, ya que el número promedio de vainas recolectadas fue de 13,83 g para las plantas control y de 14,58 para las plantas crecidas en las parcelas adicionadas de 300 L de CMS-LignoActiv por hectárea, lo que supone un aumento estadísticamente significativo del 5,42%. Por otro lado, la adición de CMS-LignoActiv al suelo agrícola resulta en un promedio del peso de las habas recolectadas significativamente mayor cuando las plantas fueron crecidas en presencia del biofertilizante (promedio del peso de 25,99 g por vaina) respecto a las plantas no adicionadas de CMS-LignoActiv (promedio del peso de 23,59 g por vaina), lo que resulta en un aumento de la producción del 10,17% cuando las plantas son suplementadas con el

coproducto. A su vez, estos aumentos estadísticos tanto en términos de número de vainas como de su peso se traducen en un rendimiento de la cosecha por hectárea aumentado en el 16,09% en las parcelas suplementadas con el biofertilizante CMS-LignoActiv respecto a las plantas control; ya que para las plantas no suplementadas con el CMS-LignoActiv el rendimiento fue de 3.133 Kg por hectárea mientras que para las plantas crecidas en presencia del biofertilizante el rendimiento se determinó como 3.637 Kg por hectárea.

Tabla 3. Promedio del peso de los frutos, número de piezas y rendimiento en peso por unidad de producción para los cultivos de amplia extensión (maíz, guisante y haba) suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (300 L por hectárea).

Letras A y B indican diferencias significativas ( $\alpha = 0,15$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con el CMS-LignoActiv de acuerdo al test de Kruskal-Wallis.

		Número de piezas recolectadas (unidades/planta)	Peso medio fruto (g)	Rendimiento por Ha (Kg)
Maíz	Control (No CMS-LignoActiv)	2,02 ± 0,53 A	306,69 ± 41,93 B	5.956 ± 443 B
	Suplementado (+300 L CMS-LignoActiv)	2,04 ± 0,50 A	329,93 ± 44,79 A	6.473 ± 207 A
Guisante	Control (No CMS-LignoActiv)	30,15 ± 5,02 A	4,88 ± 0,66 A	1.411 ± 11 B
	Suplementado (+300 L CMS-LignoActiv)	31,75 ± 4,85 A	5,14 ± 0,61 A	1.566 ± 22 A
Haba	Control (No CMS-LignoActiv)	13,83 ± 3,00 A	23,59 ± 4,89 B	3.133 ± 93 B
	Suplementado (+300 L CMS-LignoActiv)	14,58 ± 2,82 B	25,99 ± 5,07 A	3.637 ± 109 A

El conjunto de datos obtenidos para maíz, guisante y haba indica que la adición de 300 L por hectárea del producto CMS-LignoActiv mejora de manera significativa el rendimiento de las cosechas de estos tres cultivos “broadacre” ya que aumenta tanto el número de piezas como el peso promedio de los productos cosechados, lo que resulta en una mejora del rendimiento agronómico en términos de producción, aspecto fundamental para asegurar el rendimiento económico de las especies vegetales empleadas para la producción de productos vegetales a larga escala. Así, de acuerdo a la norma UNE-CEN/TS 17700-1:2022 la adición de CMS-LignoActiv mejora el estado nutricional de cualquier tipo de cultivo considerado “broadcare”

y, por tanto, este biofertilizante es útil para mejorar el rendimiento económico de estos importantes cultivos tanto a nivel local como a nivel mundial ya que son empleados como productos primarios tanto para producción de materias primas como para otras industrias, siendo necesario una mejora de su producción para aliviar los problemas económicos que padece este sector agrícola.

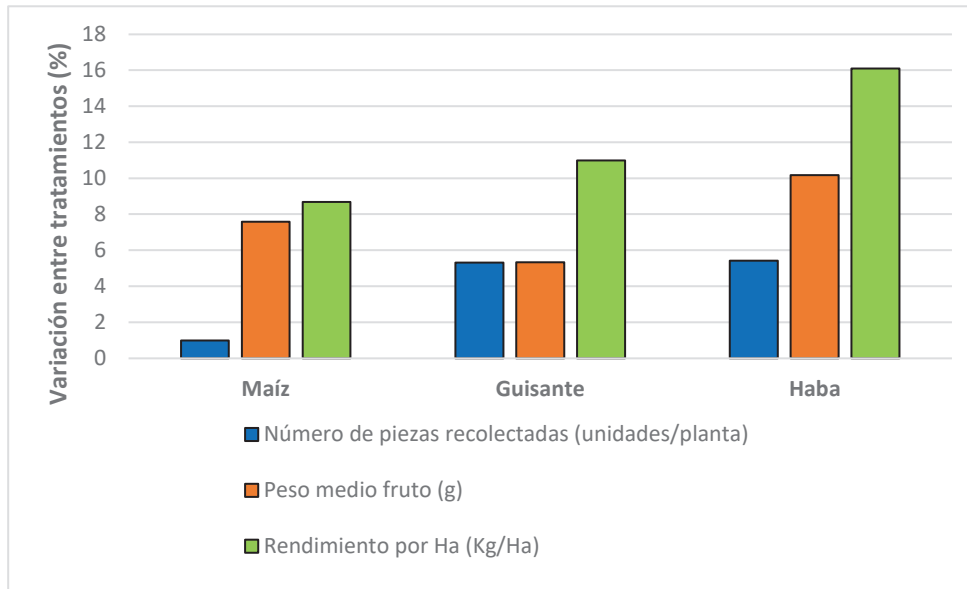


Figura 3. Variación en los parámetros de rendimiento entre las plantas suplementadas y no suplementadas con el producto CMS-LignoActiv para cultivos “broadcare”.

## Conclusiones

De acuerdo con lo establecido en la norma UNE-CEN/TS 17700-1:2022, el producto CMS-LignoActiv promueve el crecimiento vegetal determinado como el aumento del rendimiento agrícola expresado en unidades por planta y peso promedio de los productos obtenidos en árboles frutales, especies hortícolas y en cultivos de amplia extensión, lo que resulta en un aumento estadísticamente significativo de las cosechas que oscila entre el 5% del maíz hasta el 21% del mango. Así, atendiendo al número de cultivos analizados (9 especies vegetales diferentes representado 3 tipos de producción distintos) podemos extrapolar la capacidad del producto CMS-LignoActiv para promover el desarrollo vegetal al conjunto de las distintas especies vegetales, independientemente del tipo de planta, de acuerdo con la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022. En definitiva, la aplicación de CMS-LignoActiv a los distintos cultivos agrícolas se traduce en un mayor rendimiento agronómico cuando se emplea siguiendo las pautas de dosificación y aplicación recomendadas por el fabricante y bajo unas adecuadas prácticas agronómicas que incluyen el correcto abonado de estos cultivos. Sin embargo, a pesar de la mejora general de los cultivos, el grado de aumento de la cosecha es específico para cada especie vegetal de acuerdo a los distintos resultados del incremento de la producción



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



observados, si bien el valor promedio de la mejora del rendimiento de la cosecha es del 15,29%. Por tanto, de acuerdo con la normativa UNE-CEN/TS 17700-1:2022 para la determinación del papel estimulador del crecimiento vegetal ratificada por la Asociación Española de Normalización, el producto CMS-LignoActiv es un bioestimulante del crecimiento vegetal, independientemente de la especie vegetal empleada.

**Firmado:**

David Correa Galeote

Coinvestigador principal

Jesús González López

Investigador principal

CORREA  
GALEOTE DAVID  
- 74729983Q

Firmado digitalmente por  
CORREA GALEOTE DAVID  
- 74729983Q  
Fecha: 2024.12.10  
14:02:14 +01'00'

GONZALEZ  
LOPEZ  
JESUS JUAN  
- 30411031V

Firmado digitalmente por  
GONZALEZ LOPEZ  
JESUS JUAN -  
30411031V  
Fecha: 2024.12.11  
10:51:43 +01'00'



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



## Referencias.

Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., et al. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, 27, 1-11.

Chura, J., & Tejada, J. (2014). Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Idesia (Arica)*, 32(1), 113-118.

Dymond, K., Celis-Diez, J. L., Potts, S. G., Howlett, B. G., Willcox, B. K., & Garratt, M. P. (2021). The role of insect pollinators in avocado production: A global review. *Journal of Applied Entomology*, 145(5), 369-383.



## Análisis de compuestos bioactivos del CMS-LignoActiv de Azucarera del Guadalfeo

### Determinación del efecto estimulante del crecimiento vegetal y osmoprotector del CMS-LignoActiv en plantas de guisante.

De acuerdo con la memoria inicial de proyecto, se ha determinado el efecto promotor del crecimiento vegetal del producto CMS-LignoActiv en plantas de guisante (*Pisum sativum*) variedad Lincoln crecidas en solución nutritiva de Rigaud y Puppo (1975) en condiciones control (no suplementado con CMS-LignoActiv) y suplementadas con CMS-LignoActiv (1 % v/v). Igualmente, se ha determinado el efecto protector del producto CMS-LignoActiv en condiciones de estrés salino mediante la adición de 25 mM de NaCl a la solución de cultivo tanto en la condición control como en las plantas crecidas en presencia de CMS-LignoActiv. Además, como medida global de una mayor vitalidad de las plantas mediante la suplementación con CMS-LignoActiv se ha determinado la capacidad fotosintética de las plantas mediante la emisión de fluorescencia de la clorofila *a*. Finalmente, el estado nutricional de las plantas se ha analizado como el contenido en carbono y nitrógeno mediante análisis elemental orgánico. La realización de estos experimentos ha seguido lo establecido por la normativa UNE-CEN/TS 17700-3:2022 “Tolerancia al estrés abiótico resultante del uso de un bioestimulante de plantas”.

### Metodología

Las semillas de guisante variedad Lincoln se esterilizaron en superficie mediante la adición de NaClO durante 5 minutos. Posteriormente, las semillas lavadas con agua destilada estéril fueron sometidas a pregerminación durante 72 horas en placas Petri provistas del medio agar-agua (1% p/v) e incubadas a 30 °C en oscuridad.

Una vez germinadas, las semillas con una raíz con un desarrollo óptimo fueron sembradas en tubos Falcon provistos de 50 mL de solución semisólida de Rigaud y Puppo (agar al 0.5% p/v) y cubiertas de perlita estéril para prevenir la aparición de hongos. Las plantas sometidas a estrés salino fueron crecidas en la misma solución provista de una concentración de 25 mM de NaCl. A su vez, el lote de plantas suplementadas con el bioestimulante ensayado fue adicionado del 1% del producto CMS-LignoActiv, tanto en condiciones de no salinidad como de salinidad. Finalmente, las plantas fueron crecidas en una cámara de cultivo en condiciones controladas de temperatura y humedad durante 28 días desde la siembra.

A los 21 días de crecimiento de las plantas se determinó la capacidad fotosintética como la cinética de la emisión de fluorescencia de la clorofila *a* de acuerdo a Navarro-León et al. (2022). Básicamente, las plantas se adaptaron a la oscuridad durante 30 minutos antes de tomar las mediciones y posteriormente se determinó la cinética de la emisión de fluorescencia de la clorofila *a* utilizando el fluorímetro Handy PEA (Hansatech Ltd, King's Lynn, Reino Unido)



tras inducción con luz roja (650 nm) y posterior análisis de la transición de los flujos de emisión de fluorescencia mediante el método JIP. La cinética de la emisión se puede utilizar como una herramienta precisa para probar la respuesta directa de diversos factores ambientales adversos sobre los vegetales, así como del estado funcional general de la planta ya que es una herramienta no invasiva para la detección y cuantificación de los cambios en el aparato fotosintético (Akhter et al., 2021). Los parámetros empleados en este análisis para estudiar el flujo de energía como aproximación a las capacidades fotosintéticas fueron la máxima eficiencia cuántica del fotosistema II en condiciones de adaptación a la oscuridad ( $F_v/F_m$ ), la cantidad de centros de reacción fotosintética por absorción (RC/ABS), la vitalidad del aparato fotosintético de acuerdo al índice de rendimiento ( $PI_{ABS}$ ) y el balance de eficiencia de las reacciones oscuras tras el transporte de los electrones desde la plastoquinona A hasta la plastoquinona B ( $\Psi_{E_0}$ ) (Strasser et al., 2000).

Una vez crecidas las plantas, se determinó la longitud del tallo y de la raíz, así como el peso fresco de la parte aérea y radicular en un total de 60 plantas ( $n = 20$ , 3 repeticiones) en las plantas cosechadas a los 28 días desde la siembra, de acuerdo con lo previamente establecido por Rodríguez et al. (2020). La determinación del contenido de C y N de la biomasa total estas plantas recolectadas (parte radicular y parte aérea) tras 28 días de crecimiento se realizó mediante combustión a alta temperatura empleándose un analizador elemental Thermo Scientific Modelo Flash 2000.

Las diferencias estadísticas entre los conjuntos de datos fueron exploradas mediante el test de Mann-Whitney en el paquete informático XLSTAT 2023.1.3 (Lumivero, EEUU).

### **Análisis de los resultados**

Un ejemplo representativo de las plantas resultantes de la aplicación de cada tratamiento tras 28 días de crecimiento desde la siembra se muestra en la figura 1. De acuerdo a los resultados macroscópicos observados, la adición de CMS-LignoActiv favorece el desarrollo vegetativo de las plantas de guisante y, además, en condiciones de estrés salino derivado de la adición de 25 mM de NaCl a la solución nutritiva se reduce los daños derivados que el estrés salino produce sobre las plantas, actuando por tanto como osmoprotector.

### **Actividad fotosintética**

La medida de la emisión de fluorescencia de la clorofila *a* se realizó en hojas completamente desarrolladas en la posición de altura media de la planta. Para ello, se emplearon de 18 hojas de diferentes plantas por tratamiento. Los parámetros que se analizaron para estudiar los flujos de energía y la actividad fotosintética fueron  $F_v/F_m$  y RC/ABS,  $PI_{ABS}$  y  $\Psi_{E_0}$ , en los que valores más elevados reflejan una mayor eficiencia de la fotosíntesis y, por tanto, un mejor estado funcional de las plantas. Los resultados relativos a la emisión de fluorescencia por la clorofila *a* se presentan en la tabla 1.



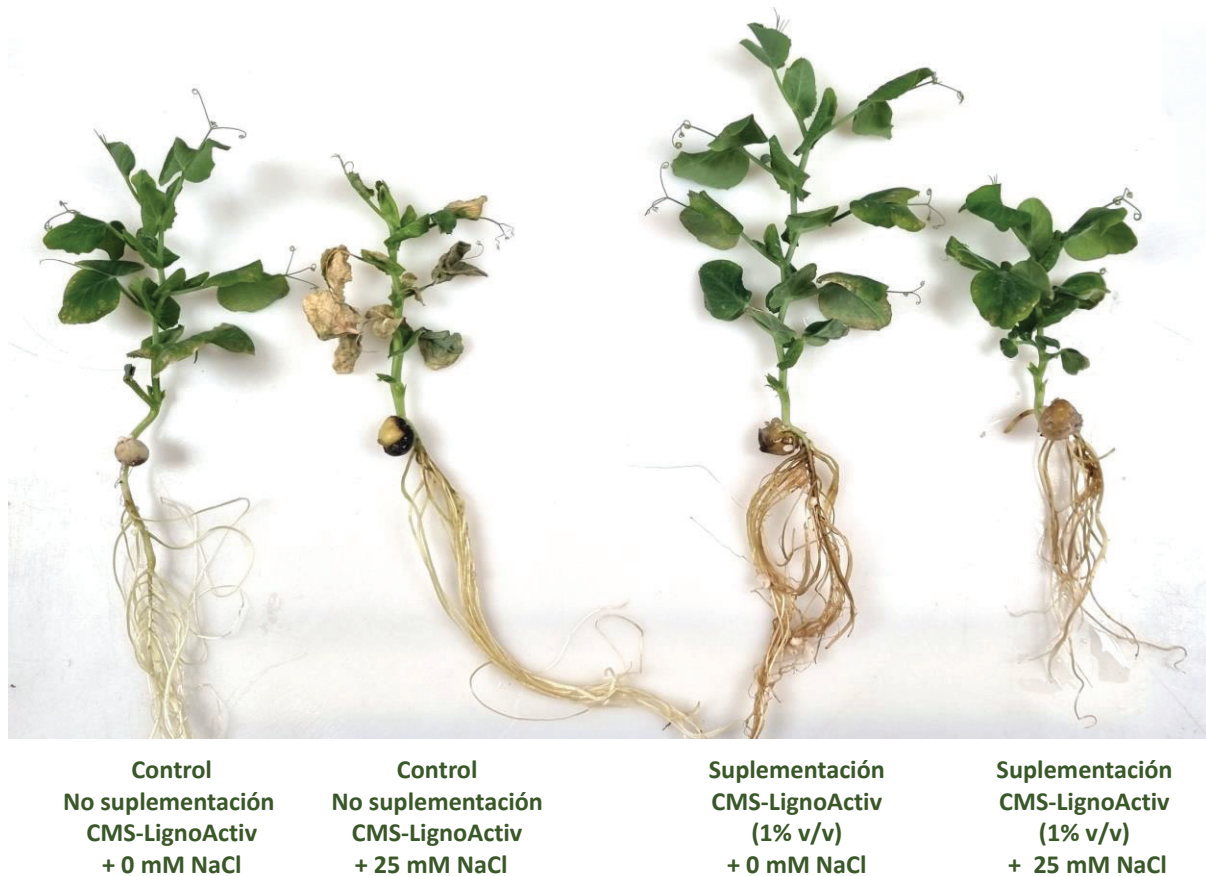


Figura 1. Ejemplo representativo de plantas de guisante var. Lincoln de cada uno de los tratamientos empleados tras 28 días de crecimiento.

El rendimiento fotosintético, determinado como la emisión de la fluorescencia de la clorofila *a*, se redujo ligeramente cuando las plantas fueron crecidas en ausencia del producto CMS-LignoActiv bajo condiciones de alta salinidad (disminución de los valores de los parámetros RC/ABS y  $\Psi_{e0}$ ), tal como se ha descrito en otras investigaciones en las que se evaluó el efecto negativo de la salinidad sobre el estado de desarrollo de las plantas (Bacarin et al., 2011). Por otra parte, la presencia del producto CMS-LignoActiv en el medio hidropónico aumenta la capacidad fotosintética de las plantas de guisante de acuerdo a los datos de fluorescencia de la clorofila *a* ya que los valores de los parámetros  $F_v/F_m$ , RC/ABS,  $PI_{ABS}$  y  $\Psi_{e0}$  fueron más elevados cuando las plantas se crecieron bajo la suplementación con CMS-LignoActiv respecto a las plantas control, incluso cuando se cultivaron en condiciones de salinidad. Por tanto, la presencia del producto CMS-LignoActiv favorece el funcionamiento fotosintético de las hojas y en consecuencia su adición resulta en un estado del vegetal más saludable. Además, este mejoramiento en el funcionamiento de los fotosistemas en condiciones de salinidad sugiere la capacidad de emplear el coproducto como agente protector frente a una fuerte osmolaridad del medio al reducirse el impacto nocivo de la salinidad sobre los sistemas fotosintéticos.

Tabla 1. Principales parámetros relacionados con la capacidad fotosintética de las plantas de guisante analizadas determinada como la emisión de fluorescencia de la clorofila *a*.

		Fv/Fm	RC/ABS	PI <sub>ABS</sub>	Ψ <sub>co</sub>
Control (No CMS-LignoActiv)	No salinidad (0 mM NaCl)	0.78 ± 0.07	0.38 ± 0.04	1.38 ± 0.57	0.47 ± 0.06
	Salinidad (25 mM NaCl)	0.80 ± 0.05	0.36 ± 0.10	1.39 ± 0.57	0.46 ± 0.03
Suplementado (+1% CMS-LignoActiv)	No salinidad (0 mM NaCl)	0.81 ± 0.03	0.38 ± 0.04	1.67 ± 0.36	0.48 ± 0.03
	Salinidad (25 mM NaCl)	0.82 ± 0.01	0.39 ± 0.02	1.86 ± 0.34	0.51 ± 0.04

### Capacidad de crecimiento de la parte radicular

Los resultados presentados en la figura 2 sobre el desarrollo longitudinal de las raíces indican que la salinidad del medio produce una ligera disminución de la longitud radicular, la cual no fue estadísticamente significativa cuando las plantas se crecen en condiciones control (no suplementación con CMS-LignoActiv). Sin embargo, la adición de CMS-LignoActiv produce una disminución del tamaño de la raíz independientemente de las condiciones de salinidad (reducción promedio de la longitud de la raíz respecto al control del 19% y 17% en ausencia y presencia de NaCl, respectivamente, con relación a las plantas control en ausencia de salinidad). De acuerdo con Schneider et al. (2021), condiciones favorables nutricionalmente, como es el caso de la derivada tras la suplementación con el coproducto con capacidad potencial de uso como bioestimulante, mejoran la asimilación de nutrientes por las raíces. Este hecho resultaría en un aumento de la asignación de recursos energéticos destinados al crecimiento de la parte aérea y en una menor necesidad de desarrollo radicular para la obtención de nutrientes, lo que concuerda con el menor desarrollo radicular de estas plantas. Esto sugiere que la adición de CMS-LignoActiv tiende a producir raíces más eficientes que ante un menor desarrollo radicular de las plantas lo que permite alcanzar un desarrollo satisfactorio del crecimiento vegetal. Por tanto, la adición de CMS-LignoActiv favorece la capacidad de asimilación de nutrientes por parte de las plantas de guisante para obtener un mayor crecimiento de la parte aérea de la planta.

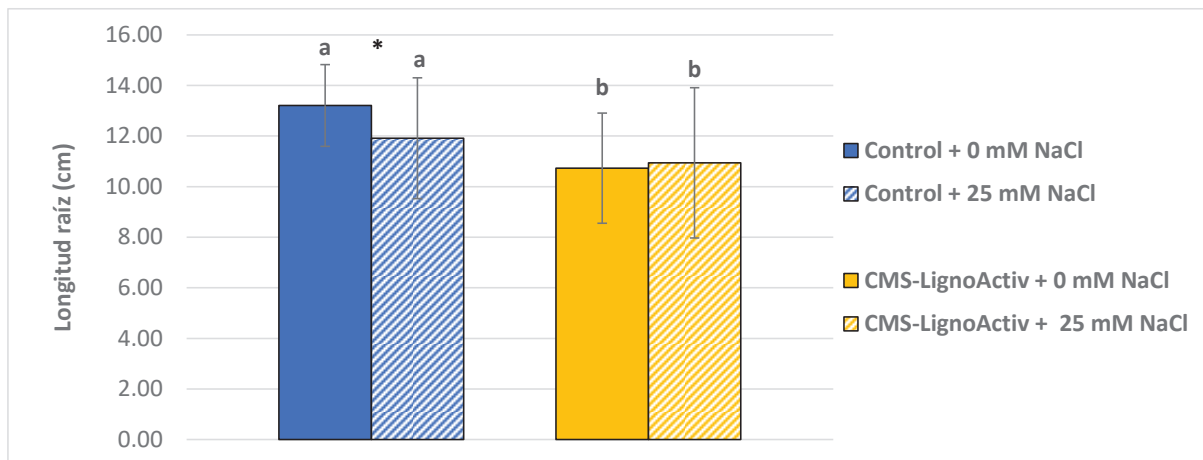


Figura 2. Longitud de la raíz de las plantas de guisante tras 28 días de crecimiento en condiciones de no salinidad (0 mM NaCl) y de salinidad (25 mM NaCl) y suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (1% v/v). Letras a y b indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con CMS-LignoActiv en condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl salinidad, respectivamente. Un asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl para un tratamiento dado (1% suplementación con CMS-LignoActiv o no suplementación).

De manera similar a lo observado para los resultados de longitud de la raíz, la presencia de un estrés salino disminuye ligeramente el desarrollo radicular en condiciones control (no suplementación con CMS-LignoActiv), determinado como peso fresco de la raíz ya que se observa una reducción promedio de la biomasa de la raíz del 9% (figura 3). Por otra parte, la adición del producto CMS-LignoActiv en condiciones de no salinidad resulta en una menor biomasa de la raíz respecto a los datos obtenidos para el tratamiento control, de acuerdo con la mayor eficiencia en la asimilación de nutrientes por parte de la raíz como se ha descrito anteriormente. Así, los valores de desarrollo vegetal observados confirman que las plantas de guisante necesitan destinar menores recursos a la parte radicular para alcanzar un mayor desarrollo foliar bajo la presencia del producto bioestimulante. Finalmente, respecto a la capacidad de crecimiento radicular en condiciones de salinidad y en presencia del producto CMS-LignoActiv, las plantas de guisante responden aumentando el desarrollo radicular (promedio del aumento del peso fresco de la raíz respecto a las suplementadas con CMS-LignoActiv en ausencia de estrés salino del 11%), lo que evita los efectos perjudiciales de la salinidad en el desarrollo radicular. Esto sugiere que el producto CMS-LignoActiv, además de favorecer la asimilación de nutrientes por la raíz en condiciones nutricionalmente óptimas, produce un efecto estimulador del desarrollo radicular cuando existen condiciones no favorables para el crecimiento como es el caso del estrés salino para cubrir satisfactoriamente los requerimientos nutricionales de las plantas.

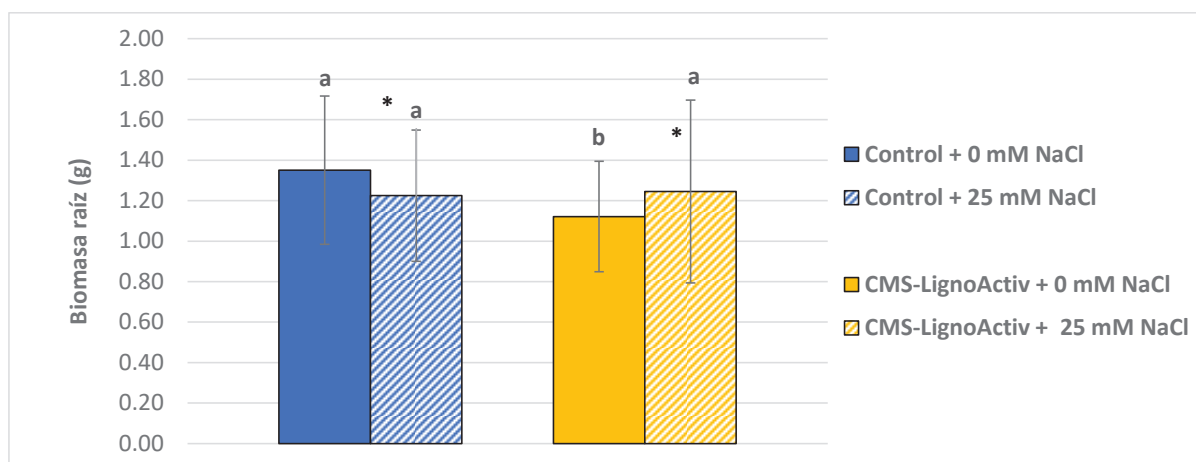


Figura 3. Peso fresco de las raíces de las plantas de guisante tras 28 días de crecimiento en condiciones de no salinidad (0 mM NaCl) y de salinidad (25 mM NaCl) y suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (1% v/v). Letras a y b indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con CMS-LignoActiv en condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl salinidad, respectivamente. Un asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl para un tratamiento dado (1% suplementación con CMS-LignoActiv o no suplementación).

### Capacidad de crecimiento de la parte foliar

De acuerdo a la figura 4, el crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés salino (25 mM de NaCl) en las plantas control (ausencia del producto CMS-LignoActiv) produce una disminución significativa del tamaño de la longitud de la parte foliar de la planta (valor promedio de la reducción de la altura del 25%). Sin embargo, en condiciones de estrés salino y cuando las plantas se adicionaron de CMS-LignoActiv la reducción del crecimiento fue sensiblemente menor (valor promedio de la reducción de la altura de las plantas del 16%). De este modo, las plantas suplementadas con el producto CMS-LignoActiv y sometidas a salinidad presentan valores estadísticamente superiores de altura de la planta (valor promedio del incremento de la longitud del tallo del 12%). Por tanto, la adición del producto CMS-LignoActiv permite a las plantas de guisante adquirir un porte superior cuando están sometidas a condiciones de estrés por elevada salinidad, revertiéndose de esta manera parcialmente los efectos nocivos del estrés salino respecto a los resultados del análisis de este parámetro fisiológico. No obstante, hay que indicar que la adición de CMS-LignoActiv en ausencia de estrés resulta en valores de altura similares a los obtenidos para las plantas control y las suplementadas, ya que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre ambos sets de plantas en condiciones de 0 mM de NaCl (tamaño promedio de longitud para las plantas control y suplementadas con CMS-LignoActiv 10.4 y 10.0 cm, respectivamente).

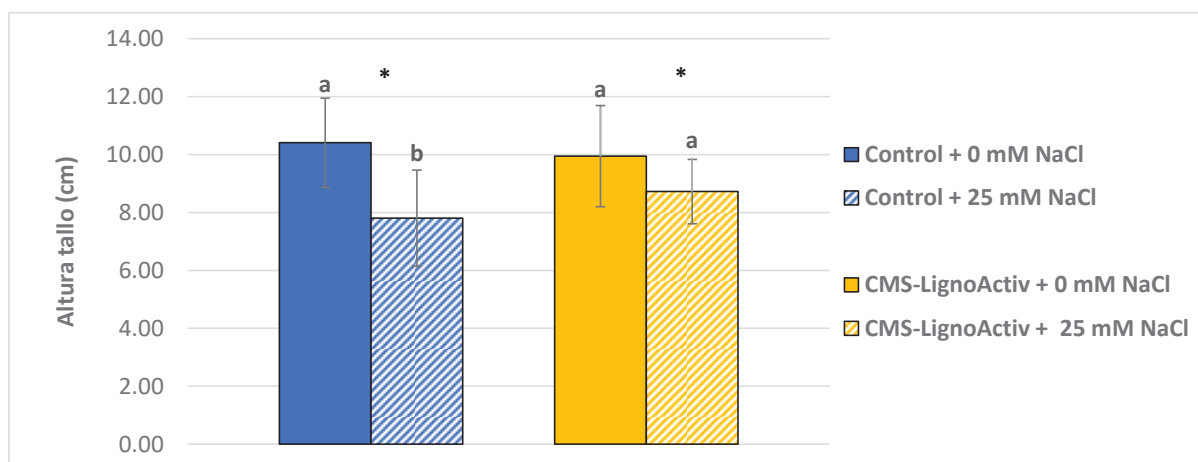


Figura 4. Altura del tallo de las plantas de guisante tras 28 días de crecimiento en condiciones de no salinidad (0 mM NaCl) y de salinidad (25 mM NaCl) y suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (1% v/v). Letras a y b indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con CMS-LignoActiv en condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl salinidad, respectivamente. Un asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl para un tratamiento dado (1% suplementación con CMS-LignoActiv o no suplementación).

Los valores de la biomasa producida por las plantas se muestran en la figura 5. Estos resultados indican que un estrés salino en condiciones de no suplementación con CMS-LignoActiv resulta en una reducción significativa del desarrollo foliar (valor promedio de reducción de biomasa vegetal del 17% determinado como peso fresco de la parte aérea). Por otra parte, la suplementación de la solución nutritiva al 1% con el CMS-LignoActiv aumenta la producción de biomasa de manera significativa ya que la biomasa vegetal se incrementó en un 27% respecto a las plantas control. Además, el efecto nocivo de la salinidad no se observa cuando las plantas se suplementaron con el producto CMS-LignoActiv ya que existe un aumento de la producción de biomasa entre las plantas suplementadas en salinidad y las no suplementadas en ausencia de salinidad del 18% en condiciones de no estrés salino y del 40% respecto a las no suplementadas crecidas en salinidad. Por otra parte, indicar que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre el peso de la biomasa aérea de las plantas suplementadas con un 1% de CMS-LignoActiv en ausencia y presencia de NaCl, lo que refleja que la suplementación con el producto CMS-LignoActiv resulta en un aumento significativo del desarrollo de las plantas, incluso en las condiciones adversas derivadas de la presencia de una fuerte osmolaridad en el medio de cultivo. Tal como se muestra en la figura 1, la presencia de 25 mM de NaCl en las plantas no adicionadas del producto fertilizante resulta en graves daños tisulares ya que aparecen amplias zonas necróticas en las hojas, daños que fueron sensiblemente menores en las plantas suplementadas con CMS-LignoActiv. Por tanto, el producto CMS-LignoActiv es un potente promotor del crecimiento vegetal de acuerdo los resultados obtenidos ya que de manera específica promueve el desarrollo de la biomasa foliar mejorando el estado nutricional de las plantas, lo que deriva en aumento significativo del peso

fresco de las plantas. Además, este compuesto es capaz de minimizar los efectos nocivos del estrés salino actuando como agente osmoprotector, ya que la adición del producto resulta en plantas más vigorosas, con una producción de biomasa aérea inclusive mayor a la obtenida cuando las plantas de guisante fueron condiciones control en ausencia de salinidad.

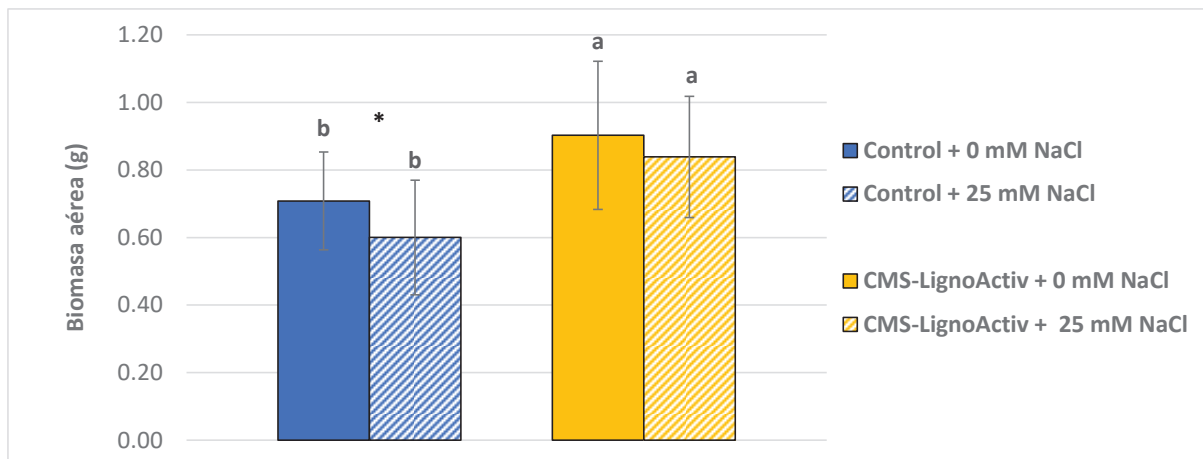


Figura 5. Peso fresco de la parte aérea de las plantas de guisante tras 28 días de crecimiento en condiciones de no salinidad (0 mM NaCl) y de salinidad (25 mM NaCl) y suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (1% v/v). Letras a y b indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con CMS-LignoActiv en condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl salinidad, respectivamente. Un asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl para un tratamiento dado (1% suplementación con CMS-LignoActiv o no suplementación).

### Contenido en Carbono y Nitrógeno en las plantas

La determinación del contenido en carbono y nitrógeno mediante análisis elemental orgánico se muestran en las figuras 6 y 7, respectivamente.

Por una parte, la presencia de 25 mM de NaCl en el medio de cultivo no resulta en un menor del contenido en Carbono cuando las plantas fueron crecidas en ausencia del producto en ausencia del bioestimulante. Sin embargo, la suplementación del medio hidropónico con 1% de CMS-LignoActiv aumenta significativamente el contenido en Carbono en la biomasa total de las plantas de guisante respecto a las plantas control no suplementadas ya que se observa un aumento del contenido en Carbono del 8% en las plantas suplementadas. Igualmente, la adición de CMS-LignoActiv en las plantas crecidas en presencia de salinidad estimula el contenido en Carbono, observándose un aumento significativo del porcentaje respecto a las plantas control tanto en condiciones de no salinidad (aumento del 8%) como de no salinidad (aumento del 7%).

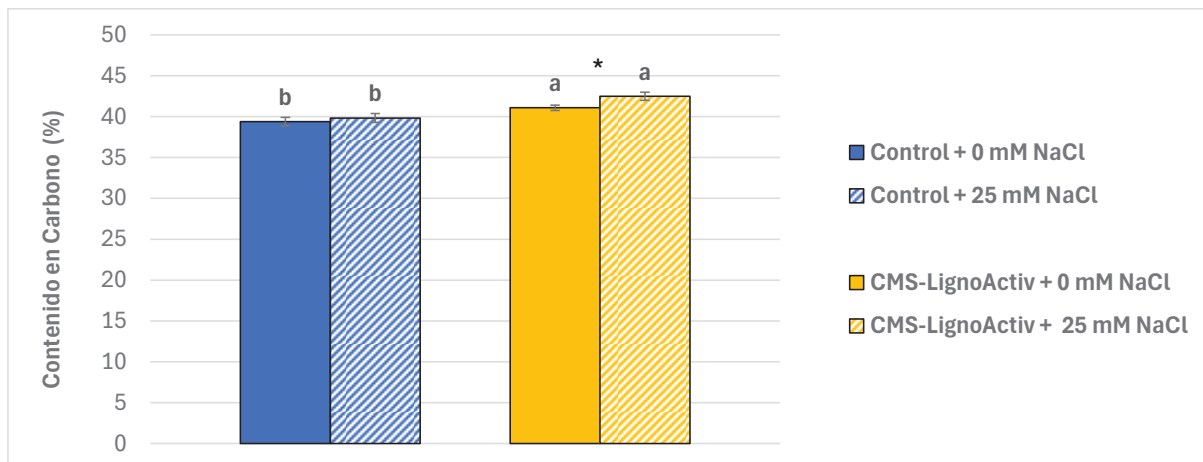


Figura 6. Porcentaje del contenido en Carbono de las plantas de guisante tras 28 días de crecimiento en condiciones de no salinidad (0 mM NaCl) y de salinidad (25 mM NaCl) y suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (1% v/v). Letras a y b indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con CMS-LignoActiv en condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl salinidad, respectivamente. Un asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl para un tratamiento dado (1% suplementación con CMS-LignoActiv o no suplementación).

Respecto al contenido en Nitrógeno, la presencia de 25 mM NaCl en el medio hidropónico reduce ligeramente su contenido en condiciones de no suplementación, si bien esta disminución del 6% no fue estadísticamente significativa. Contrariamente, la adición de CMS-LignoActiv al medio hidropónico en condiciones de no salinidad resulta en un mayor contenido de este compuesto esencial, aumentando en un 8% su porcentaje. A su vez, en condiciones de estrés salino la suplementación con CMS-LignoActiv respecto a las plantas control en condiciones de no salinidad y salinidad resulta en un aumento del contenido Nitrógeno en la biomasa total de las plantas, incrementos estadísticamente significativos del 2% y del 9% respecto a las plantas control en ausencia y presencia de 25 mM de NaCl.

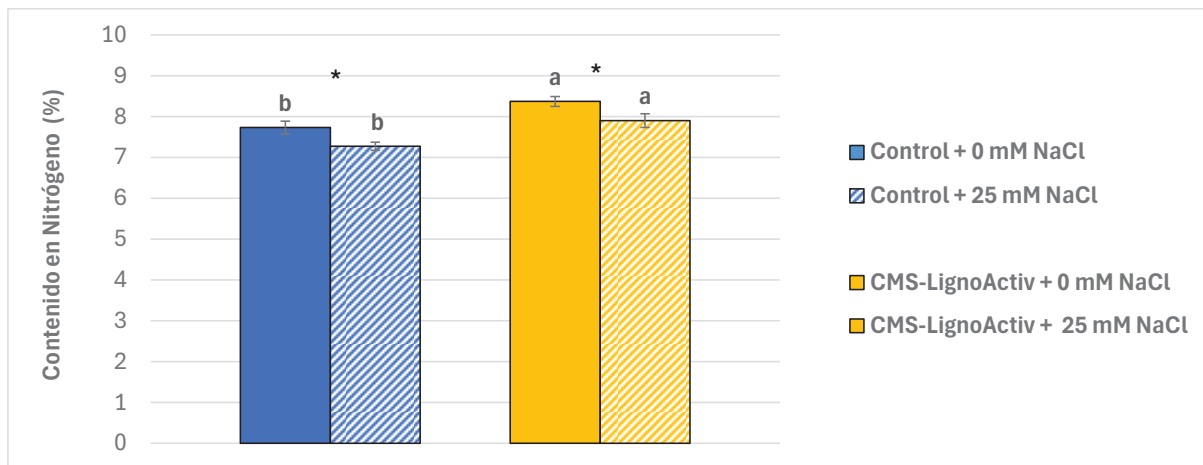


Figura 7. Porcentaje del contenido en Nitrógeno de las plantas de guisante tras 28 días de crecimiento en condiciones de no salinidad (0 mM NaCl) y de salinidad (25 mM NaCl) y suplementadas o no con el producto CMS-LignoActiv (1% v/v). Letras a y b indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento control y el suplementado con CMS-LignoActiv en condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl salinidad, respectivamente. Un asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las condiciones de 0 mM NaCl y de 25 mM NaCl para un tratamiento dado (1% suplementación con CMS-LignoActiv o no suplementación).

En definitiva, el aumento en el contenido Carbono y Nitrógeno observado cuando las plantas se suplementan con el producto CMS-LignoActiv confirma su capacidad para promover el crecimiento vegetal y, a su vez, revela la capacidad osmoprotectora del coproducto ya que revierte los efectos nocivos del estrés salino permitiendo un estado nutricional óptimo de las plantas (Zheng, 2009). Esto es debido a que, para un correcto desarrollo de las plantas, los metabolismos celulares del Carbono y del Nitrógeno deben estar estrechamente coordinados como se muestra en la figura 8. De este modo, la asimilación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico resulta en su transformación mediante la fotosíntesis hasta triosa-3-fosfato y, posteriormente, hasta sacarosa mediante la acción de las enzimas sacarosa-fosfato sintetasa y sacarosa fosfatasa. Así, la sacarosa llega hasta el interior de las células de la raíz a través de los transportadores de sacarosa y por la acción de una invertasa se hidroliza hasta fructosa y glucosa; hidrato de carbono que mediante la glucólisis y el ciclo de los ácidos tricarbónicos se convierte en el intermediario 2-oxoglutarato, que posteriormente se transformará en glutamato durante el proceso de la fotorrespiración. Por otra parte, el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) presente en el medio es absorbido mediante diversos transportadores hasta el interior de la célula de la raíz donde reduce hasta nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por la acción de la enzima nitrato reductasa y luego hasta amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) por la enzima nitrito reductasa. Una vez sintetizados estos intermediarios, el amonio procedente de la asimilación de Nitrógeno es incorporado al glutamato generándose el aminoácido glutamina mediante la acción de la enzima glutamina sintetasa. De este modo se interconectan los metabolismos del Carbono y del Nitrógeno mediante la biosíntesis de este



aminoácido clave. Además, el grupo amida de la glutamina se va a transferir al 2-oxoglutarato almacenado para la producción del aminoácido glutamato por la acción de la enzima glutamato sintasa. Una vez producido, el glutamato va a actuar como donador del grupo amonio para la biosíntesis de otros aminoácidos, transfiriéndose a través de diversas enzimas transaminasas a diversos ácidos orgánicos para la producción de los correspondientes aminoácidos que serán utilizados en la biosíntesis de las proteínas necesarias para el desarrollo de las plantas. Entre estos aminoácidos destacan el aspartato y la asparagina, ya que a su vez sirven como donante activo de amonio o como compuesto de transporte/almacenamiento de este, respectivamente. Por lo tanto, la acción de las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa es la pieza clave para la interconexión entre el metabolismo del Carbono y del Nitrógeno, ya que su acción permite la biosíntesis de los diversos compuestos nitrogenados necesarios para el buen funcionamiento y desarrollo de las plantas. Así, el aumento en contenido en Carbono y Nitrógeno manteniendo un balance adecuado de su contenido es fundamental desde el punto de vista metabólico de las plantas ya que es crucial para que los vegetales realicen sus actividades celulares rutinarias y fundamentales de manera óptima (Baslam et al., 2021). De este modo, la adición de CMS-LignoActiv promueve la consecución de un balance adecuado de ambos macroelementos, asegurando la producción de cultivos agrícolas y contribuyendo el mantenimiento de los agroecosistemas.

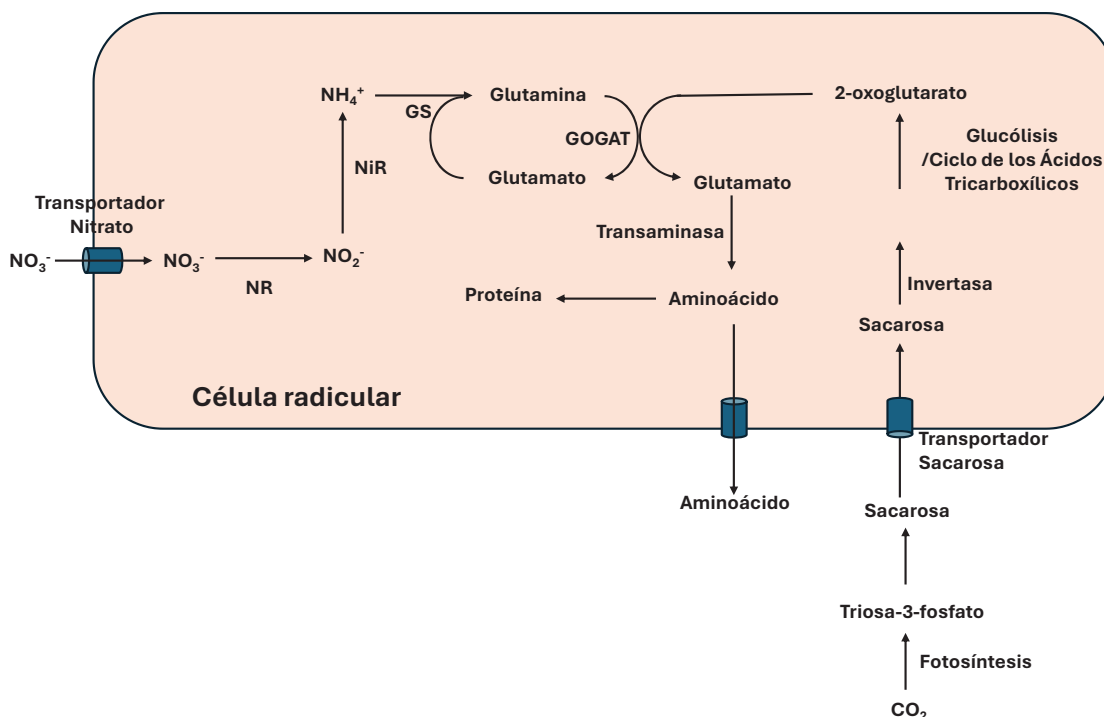


Figura 8. Asimilación del nitrato y su relación con el metabolismo del carbono en una célula de la raíz de una planta.  $\text{NO}_3^-$ : ion nitrato; NR: nitrato reductasa;  $\text{NO}_2^-$ : ion nitrito;  $\text{NH}_4^+$ : ion amonio;  $\text{CO}_2$ : dióxido de carbono; GS: Glutamina sintetasa; GOGAT: glutamato sintasa.



## Conclusiones

El conjunto de los resultados obtenidos indica que la aplicación del producto CMS-LignoActiv es capaz de aumentar el desarrollo vegetal de forma significativa debido a su actividad promotora del crecimiento de las plantas, lo que mejora la capacidad fotosintética de las mismas ya que se traduce en el aumento de forma significativa de la biomasa foliar y, finalmente, en un mejor estado nutricional de las plantas al aumentarse tanto el contenido en Carbono como en Nitrógeno en la biomasa total generada. Además, este producto tiene efecto osmoprotector al revertir los efectos nocivos que el estrés salino produce sobre las plantas, ya que la suplementación con CMS-LignoActiv en presencia de una elevada salinidad permite un desarrollo vegetal sensiblemente superior a lo obtenido en condiciones control (no suplementación con CMS-LignoActiv) bajo 25 mM de NaCl, disminuyendo los daños tisulares asociados a la presencia de este importante estrés medioambiental en términos de capacidad fotosintética, biomasa generada y contenido en Carbono y Nitrógeno. Así, de acuerdo a la normativa europea UNE-CEN/TS 17700-3:2022 el producto CMS-LignoActiv es un bioestimulante del crecimiento vegetal en condiciones de estrés salino y su aplicación siguiendo las dosis establecidas por el fabricante disminuye ampliamente los efectos nocivos del continuo aumento de la salinidad en los suelos agrícolas.

## Firmado:

David Correa Galeote

Jesús González López

Coinvestigador principal

Investigador principal

CORREA  
GALEOTE  
DAVID -  
74729983Q

Firmado  
digitalmente por  
CORREA GALEOTE  
DAVID - 74729983Q  
Fecha: 2024.12.10  
14:01:48 +01'00'

GONZALEZ  
LOPEZ  
JESUS JUAN  
- 30411031V

Firmado  
digitalmente por  
GONZALEZ LOPEZ  
JESUS JUAN -  
30411031V  
Fecha: 2024.12.11  
10:50:28 +01'00'



## Referencias

- Akhter, M. S., Noreen, S., Mahmood, S., Ashraf, M., Alsahli, A. A., & Ahmad, P. (2021). Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence. *Journal of King Saud University-Science*, 33(1), 101239.
- Bacarin, M. A., Deuner, S., Silva, F. S. P. D., Cassol, D., & Silva, D. M. (2011). Chlorophyll a fluorescence as indicative of the salt stress on *Brassica napus* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 23, 245-253.
- Baslam, M., Mitsui, T., Sueyoshi, K., & Ohyama, T. (2020). Recent advances in carbon and nitrogen metabolism in C3 plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 318.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., ... & Berta, G. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, 27, 1-11.
- Dymond, K., Celis-Diez, J. L., Potts, S. G., Howlett, B. G., Willcox, B. K., & Garratt, M. P. (2021). The role of insect pollinators in avocado production: A global review. *Journal of Applied Entomology*, 145(5), 369-383.
- Muhammad, S., Sanden, B. L., Saa, S., Lampinen, B. D., Smart, D. R., Shackel, K. A., ... & Brown, P. H. (2018). Optimization of nitrogen and potassium nutrition to improve yield and yield parameters of irrigated almond (*Prunus dulcis* (Mill.) DA webb). *Scientia Horticulturae*, 228, 204-212.
- Navarro-León, E., López-Moreno, F. J., Borda, E., Marín, C., Sierras, N., Blasco, B., & Ruiz, J. M. (2022). Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(15), 7098-7106.
- Rigaud, J., & Puppo, A. (1975). Indole-3-acetic acid catabolism by soybean bacteroids. *Microbiology*, 88(2), 223-228.
- Rodríguez, S., Correa-Galeote, D., Sánchez-Pérez, M., Ramírez, M., Isidra-Arellano, M. C., Reyero-Saavedra, M. D. R., ... & Girard, L. (2020). A novel OMPR-type response regulator controls multiple stages of the rhizobium *etli-phaseolus vulgaris* N<sub>2</sub>-fixing symbiosis. *Frontiers in Microbiology*, 11, 615775.
- Schneider, H. M., Yang, J. T., Brown, K. M., & Lynch, J. P. (2021). Nodal root diameter and node number in maize (*Zea mays* L.) interact to influence plant growth under nitrogen stress. *Plant Direct*, 5(3), e00310.
- Selladurai, R., & Awachare, C. M. (2020). Nutrient management for avocado (*Persea americana* miller). *Journal of plant nutrition*, 43(1), 138-147.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation*, 25, 445-483.



**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**



Taha, R. A., Hassan, H. S. A., & Shaaban, E. A. (2014). Effect of different potassium fertilizer forms on yield, fruit quality and leaf mineral content of Zebda mango trees. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(1), 123-129.

Zheng, Z. L. (2009). Carbon and nitrogen nutrient balance signaling in plants. *Plant signaling & behavior*, 4(7), 584-591.