



ETSIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica



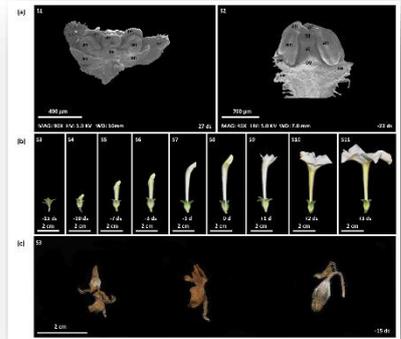
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

WiA:22



Universidad Politécnica de Cartagena

Libro de actas del 11^o Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores



Libro de actas del 11^o
Workshop en Investigación
Agroalimentaria para
jóvenes investigadores

WiA.22



Agradecimientos

El Comité Organizador agradece a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica -ETSIA- y al Instituto de Biotecnología Vegetal -IBV- de la Universidad Politécnica de Cartagena -UPCT- su ayuda para hacer posible este evento. También se agradece la financiación recibida de la Escuela Internacional de Doctorado de la UPCT.

©2023 Programa de Doctorado en TAIDA
©2023, Universidad Politécnica de Cartagena
Ediciones UPCT
Plaza del Hospital,1
30202 Cartagena
968325908
ediciones@upct.es

ISBN: 978-84-17853-61-7

Créditos fotos de portada: Francisco Artés-Hernández, Eva Armero Ibáñez, Juan A. Fernández-Hernández y Marcos Egea Gutiérrez-Cortines

Comité científico y organizador / Editores Técnicos

Dr. Francisco Artés-Hernández (Coordinador)
Dr. Juan A. Fernández-Hernández
Dra. Eva Armero Ibáñez
Dra. María Dolores de Miguel Gómez
Dr. José Miguel Molina Martínez
Dr. Juan José Alarcón Cabañero
Dr. José Enrique Cos Terrer

Programa de Doctorado en Técnicas Avanzadas de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (TAIDA). Escuela Internacional de Doctorado (EINDOC). Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)

<https://estudios.upct.es/doctorado/3470/inicio>



Esta obra está bajo una licencia de Reconocimiento-No comercial-SinObra-Dervada (by-nc-nd): no se permite el uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.
http://es.creativecommons.org/blog/wp-content/uploads/2013/04/by-nc-nd.eu_petit.png

Prefacios

Como Coordinador del Comité Organizador y Científico del 11º Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores (WIA2022), y Coordinador del Programa de Doctorado en Técnicas Avanzadas de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (TAIDA), me siento muy orgulloso de los excelentes avances científicos de nuestros doctorandos, en base a la alta calidad de las presentaciones realizadas.

El WIA2022 se celebró el 20 de junio de 2022, con más de 50 participantes del sector agroalimentario que presentaron sus avances en las actividades de investigación durante el último año. Fue un evento internacional que conectó a nuestros jóvenes investigadores de varios países. Las presentaciones orales mostraron un gran interés científico y revelaron el destacado potencial de los Equipos de Investigación involucrados en el Programa mientras que los planes de investigación presentados vislumbran un prometedor horizonte cercano de avances científicos. Creemos que es especialmente necesario que los doctorandos adquieran la capacidad de resumir y difundir sus resultados a un público diverso en un tiempo limitado, como suele ocurrir en las presentaciones en reuniones científicas. Los doctorandos de primer año tuvieron su oportunidad de presentar brevemente su plan de investigación de tesis, tratando de interactuar con otros investigadores en busca de sinergias y posible cooperación entre grupos de investigación que puedan repercutir en la mejora de sus investigaciones. Los doctorandos de segundo año en adelante presentaron resultados derivados de sus trabajos de investigación.

El mundo, y en particular las empresas, tendrán que reconstruirse tras esta pandemia de COVID-19 mediante el desarrollo y la aplicación de tecnología, por lo que la inversión en I+D+i crecerá para progresar. Especialmente interesante es el desarrollo agroalimentario, donde sin una I+D continua no podremos abastecer las necesidades de la población mundial. Por ello, la formación de doctorado que se ofrece en este programa es muy importante para acometer esta “Revolución Tecnológica” que nos espera en los próximos años.

Prof. Dr. Francisco Artés Hernández

Coordinador del 11º Workshop en Investigación Agroalimentaria (WIA2022)

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Una vez más, el "Programa de Doctorado en Técnicas Avanzadas de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (TAIDA)" ha demostrado su capacidad de atraer la atención de los investigadores predoctorales con su participación en el "Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores (WIA)", proporcionando así a los doctorandos una fantástica herramienta para, no sólo transmitir los avances de su trabajo de tesis a la comunidad científica, sino también para contribuir a la formación transversal que tan importante es en la enseñanza universitaria, y más aún en los estudios de doctorado. Una de las competencias que deben adquirir los doctorandos es la de ser capaces de comunicar a la comunidad académica y científica, y a la sociedad en general, los avances logrados en sus campos de conocimiento. Al mismo tiempo, deben ser capaces de criticar y defender las soluciones propuestas. La capacidad de transmitir los resultados de la investigación es tan importante como la propia investigación. De nada sirve tener grandes resultados si no se es capaz de transmitirlos a la comunidad científica para que cada aportación sea una de esas piezas de la compleja maquinaria del progreso científico y tecnológico. Ser capaz de mantener vivo este congreso durante once años consecutivos es un logro cuyo mérito corresponde en primer lugar a sus organizadores. Pero también es un logro de los doctorandos, sin cuya contribución no se hubiera podido sostener en el tiempo un evento de estas características. Quiero agradecer al Comité Científico y Organizador del Programa TAIDA, a los doctorandos y a sus supervisores, y al personal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad Politécnica de Cartagena su gran trabajo, que ha hecho posible la organización de una nueva edición de este Workshop. A todos ellos les animo a seguir trabajando con tanto éxito en beneficio de nuestros estudiantes de doctorado en el futuro.

Prof. Dr. Pedro Sánchez Palma

Director de la Escuela Internacional de Doctorado - EINDOC

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Como rectora de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) es un placer abrir las Actas del 11º Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores (WIA2022), donde un año más, les permite mostrar parte de los resultados de sus respectivas tesis. En la Carta Europea del Investigador, publicada por la Comisión Europea en el año 2005, se señala que el personal investigador tiene que difundir los resultados de su trabajo para que se aproveche. Además, como muestra de su compromiso social para difundir ciencia en clave ciudadana “los investigadores deben velar por que los resultados de sus actividades de investigación se den a conocer a la sociedad en general de forma que puedan ser comprendidas por los no especialistas y se mejore así la comprensión de la ciencia por parte del público”. Consecuentemente, es necesario que los jóvenes investigadores adquieran habilidades que les permita ejecutar eficaz y eficientemente las tareas propias de la divulgación y la transferencia científica hacia la sociedad. Dicho de otro modo: ciencia para comunicar ciencia. En este sentido, cabe señalar que el programa TAIDA lleva a cabo una formación de personal en actividades de investigación básica, orientada y en transferencia tecnológica relacionada con todos los ámbitos de la cadena alimentaria. TAIDA consigue, año tras año, gracias al esfuerzo y dedicación de los doctorandos y sus directores, que estas jornadas sean ejemplo de buenas prácticas y uno de los referentes de la UPCT.

En el programa TAIDA se forman científicos y profesionales que dan respuesta a la creciente demanda de ciencia, investigación e innovación en los campos relacionados con el sector agroalimentario esenciales, incluyendo . Por otra parte, para mantener la cadena de suministro de alimentos, haciéndola más competitiva y sostenible. En la actualidad el sector agroalimentario se enfrenta a enormes retos medioambientales en relación con la producción, el desperdicio de alimentos, el envasado, el transporte, así como los hábitos y el comportamiento de los consumidores. Cabe destacar, además, que el vínculo entre unas sociedades sanas y un planeta sano sitúa a unos sistemas alimentarios sostenibles en un lugar central del llamado Pacto Verde Europeo, la estrategia de crecimiento sostenible e integrador de la UE, que tiene como objetivo impulsar la economía, mejorar la salud y la calidad de vida de las personas y cuidar de la naturaleza. Además, TAIDA sigue las directrices que marca el sistema agrícola y alimentario europeo, apoyado por la política agraria común (PAC), que es, en la actualidad, una norma mundial en términos de seguridad, nutrición y calidad y que persigue convertirse en la norma mundial de sostenibilidad. Finalizo este prólogo felicitando a los organizadores, doctorandos y a directores animándoles a continuar con su interesante y prometedora labor investigadora.

Prof. Dr. Beatriz Miguel Hernández

Rectora Magnífica de la Universidad Politécnica de Cartagena, España

ÍNDICE

Presentación de los planes de investigación de nuevos doctorandos en el formato 'Tesis en 3 minutos'

SESIÓN ORAL I: Tecnología e Ingeniería de la Producción Vegetal

La evolución del riego inteligente

M. Soler-Méndez*, D. Parras-Burgos, D.S. Intrigliolo, J.M. Molina-Martínez..... 12

Desarrollo de un nuevo indicador del estado hídrico de las plantas basado en el espectro foliar

P. Berríos*, A. Pérez-Pastor 16

Efecto del estrés hídrico y del sistema de cultivo en diferentes índices térmicos de limeros jóvenes

A.B. Mira-García*, W. Conejero, J. Vera, E. Nicolás, M.C. Ruiz-Sánchez 20

Efecto del déficit hídrico en post-envero sobre la producción y calidad de uva de mesa

A. Temnani Rajja*, A. Pérez-Pastor 24

Mejora de los parámetros de calidad en frutos del género *Prunus* mediante atomización precosecha foliar de Ca, B y Si

F.J. Quirante-Moya*, M.C. Martínez-Ballesta, M. Carvajal-Alcaráz 28

Bioestimulación en pimiento bajo invernadero para una producción sostenible

S. Zapata-García*, P.J. Espinosa-Jiménez, P.J. Salvador-Albaladejo, A. Pérez-Pastor..... 32

Adición de agentes biológicos solubilizadores de nutrientes, para reducir la incidencia de enfermedades/plagas transmitidas por el suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes en cultivos de hortalizas

I. Ollio*, S. Martínez, R. Zornoza, C. Egea, J.A. Fernández..... 36

Implicación del metabolismo de la sacarosa en las respuestas diferenciales de crecimiento y productividad mediadas por el portainjerto en plantas de pimiento sometidas a estrés salino

A. Gálvez*, A. Albacete, F.M del Amor, J. López-Marín 40

SESIÓN ORAL II: Biotecnología Agroalimentaria y Tecnología de Alimentos

Prolongada monitorización y dinámica genética del virus del amarillo transmitido por pulgón de las cucurbitáceas y el virus del mosaico de la sandía en cultivos de melón y calabacín

M.P. Rabadán*, M. Juárez, P. Gómez..... 45

Determinación físico-química y de capacidad antioxidante en híbridos de poblaciones de vid con parentales tintoreros

P. Crespo*, M.I. Serrano, L. Martínez-Zamora, F. Artés-Hernández, M. Tornel..... 49

Factores que afectan al crecimiento en cultivos de *N. benthamiana* en matraz

F. Verdú-Navarro*, J. Weiss, J.A. Moreno-Cid, M. Egea-Cortines..... 53

Respuesta de la comunidad microbiana a la desinfección del suelo con compost

A. Hernández-Lara*, M. Ros, J. Cuartero, C. Egea-Gilabert, J.A. Pascual	57
Describiendo la respuesta al choque térmico de <i>Bacillus</i> spp. bajo condiciones de inactivación isotérmicas	
L. Georgalis*, P.S. Fernández, A. Garre	61
La asociación de cultivos melón/caupí cambia la comunidad bacteriana y mejora las propiedades del suelo	
J. Cuartero*, JA. Pascual, JM. Vivo, O. Özbolat, V. Sánchez-Navarro, M. Egea-Cortines, R. Zornoza, M. Martínez-Mena, E. García, M. Ros	65
Cuantificación y análisis estadístico de contaminantes en el Mar Menor	
M.C. García-Onsurbe*, Y. Vicente-Martínez, M. Caravaca	69

Organizadores



Universidad
Politécnica
de Cartagena

MEMBER OF



EUROPEAN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



CENTRO DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA APLICADA DEL SEGURA



Instituto Murciano de Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario

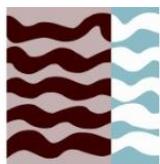


ETSia
Agrónomos

Máster y Doctorado

Universidad Politécnica de Cartagena

Colaboradores



ETSia
Escuela Técnica

Superior de

Ingeniería

Agronómica



ESCUELA
INTERNACIONAL DE
DOCTORADO



Universidad Politécnica de Cartagena

Presentación de los
planes de
investigación de
nuevos doctorandos
en el formato 'Tesis en
3 minutos'

Presentación divulgativa en 3 minutos de los Planes de Investigación de las Tesis en TAIDA a cargo de los doctorandos de 1º año

Doctorand@	Director/es	Título
Matías Ceacero Moreno	Nazaret González José Álvarez	Aspectos funcionales y ecotoxicológicos del suelo en depósitos de residuos mineros metalíferos abandonados colonizados espontáneamente por la vegetación vs restaurados en zonas Mediterráneas semiáridas: respuesta frente al cambio climático
Ana Belén Abelaira Ros	Pablo Bielza	Mejora genética del agente de control biológico <i>Orius laevigatus</i> (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) para su adaptación a bajas temperaturas
Alberto Imbernón Mulero	José Fco Maestre Belén Gallego	Evaluación y validación de tecnologías y herramientas para la gestión sostenible del riego con agua marina desalinizada en parcela
Amador Rodríguez Gómez	Pablo Bielza	Respuesta de razas mejoradas de <i>Orius laevigatus</i> (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) a la alimentación con ácaros astigmátidos.
Jose Angel Berná Sicilia	Gloria Barzana José Antonio Pascual	Desarrollo de nano-micro-tecnología para el aumento de la resistencia al estrés en el cultivo <i>Allium cepa</i> L.
Alberto Gila Navarro	Marcos Egea Pedro J. Navarro	Mejora de Cannabis medicinal combinando análisis genómico y edición génica
Miguel Tomás Gómez Hernández	Antonio López Ginés Benito Martínez	Inactivación por altas presiones y microencapsulación de probióticos. Influencia sobre su capacidad de adhesión intestinal
Ángel Carrascosa Robles	Mª del Mar Alguacil José Antonio Pascual	Uso combinado de prácticas agronómicas y microorganismos beneficiosos para el cultivo de especies vegetales silvestres comestibles (WEPS) de la cuenca Mediterránea
Antonio Luciano	Alfredo Palop Pablo S. Fernández	Descontaminación de materias primas y tratamiento de bebidas vegetales y smoothies con antimicrobianos naturales en nanoemulsión para garantizar su seguridad alimentaria
Fabio Amoruso	Juan A. Fernández Jesús Ochoa	Mejora de la productividad del cultivo de la Rúcula en un sistema sostenible de cultivo sin suelo
Sandra Viviana Medina-López	Juan Pablo Fernández Mª Soledad Hernández	Estudios de postcosecha y transformación alimentaria de ñampín morado colombiano

SESIÓN ORAL I:
Tecnología e
Ingeniería de la
Producción Vegetal

La evolución del riego inteligente

The evolution of smart irrigation

M. Soler-Méndez^{1*}, D. Parras-Burgos², D.S. Intrigliolo³, J.M. Molina-Martínez¹

¹Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

²Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Cartagena. C/ Doctor Fleming, s/n, 30202, Cartagena, Murcia, España.

³Departamento de Ecología. CSIC-UV-GVA. Centro de Investigaciones sobre Desertificación. Carretera CV-315, km 10.7, 46113, Moncada, Valencia, España.

*manuel.ia@agrosolmen.es

Resumen

Son muchos los avances tecnológicos en el sector de la fertirrigación, enfocados cada uno a un área concreta. Pero si nos alejamos para cambiar la perspectiva, se hace necesaria una herramienta para la gestión global de toda esta tecnología. Un amplio trabajo está detrás del desarrollo de la plataforma GENHIDRO, que permitirá adquirir información agronómica, analizarla, y tomar decisiones para actuar sobre el sistema de riego. Se podrá alcanzar la aplicación efectiva de tecnologías encaminadas a gestionar el riego inteligente.

Palabras clave: GENHIDRO; automatización del riego; lisimetría de pesada.

Abstract

There are many technological advances in the fertigation sector, each one focused on a specific area. But if we move away to change the perspective, a tool for the global management of all this technology is necessary. Extensive work is behind the development of the GENHIDRO platform, which will make it possible to acquire agronomic information, analyze it, and make decisions to act on the irrigation system. It will be possible to achieve the effective application of technologies aimed at managing smart irrigation.

Keywords: GENHIDRO; irrigation automation; weighing lysimeter.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo inicial de mi Tesis Doctoral fue el de encontrar una herramienta que pudiese cuantificar de forma precisa las necesidades hídricas y nutricionales, en definitiva, las necesidades de fertirrigación, de los cultivos. Para conseguir una gestión eficiente del agua de riego, directamente relacionada con el aporte de nutrientes a los cultivos, se hace necesario el control de todo el balance hídrico y nutricional (1).

La única herramienta que cuantifica de forma real el consumo de agua de un cultivo es un lisímetro de pesada. Debido a sus características, es igualmente la única herramienta que permite establecer el análisis de la solución nutritiva del riego y del drenaje con el fin de cuantificar el balance nutricional, pues está cuantificado el aporte de agua y la pérdida por drenaje (1). De esa manera, se ha trabajado para conseguir que el lisímetro de pesada portable que se ha desarrollado desde el Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar tenga robustez y fiabilidad, así como para que ofrezca información útil para la gestión de los cultivos. La óptima gestión de los recursos hídricos no solo pasa por el empleo de la tecnología expuesta, sino también por la adopción de metodologías de manejo inteligentes (2,3). Una vez se dispone de la información de cada parámetro monitorizado, a través del sensor oportuno, hay que procesar la información, y tomar decisiones para actuar sobre el sistema de fertirrigación; todo ello requiere de una

interconexión entre distintos elementos, que a día de hoy no es fácil, porque existen multitud de herramientas por separado para cada una de las partes (4).

Un sistema de fertirrigación se puede descomponer en distintos elementos, todos susceptibles de control: Balsas de regulación, estaciones de bombeo, estaciones de filtrado, equipos de fertirrigación, redes de distribución de agua a nivel de parcela, y sensores y equipos de adquisición de datos para monitorizar distintas variables agroclimáticas del continuo suelo-planta-atmósfera. Cada uno de los elementos enumerados es susceptible de monitorizar mediante sensores y equipamiento asociado; pero, además, es susceptible de controlar, a través de actuadores conectados a sistemas de control. Frente a la gran variabilidad de fabricantes de equipos que interactúan, se está desarrollando una plataforma de gestión integral, que tiene la meta de conectar con todos y cada uno de ellos, almacene la información en el servidor, la analice mediante los algoritmos incorporados, y tome decisiones para controlar el riego.

El objetivo de este trabajo es presentar los avances logrados a lo largo del trabajo realizado en esta Tesis Doctoral, así como el de promover las distintas líneas de investigación que se abren tras el trabajo realizado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Balsas

Se consideran cuatro parámetros como importantes para la gestión de las balsas: caudales de entrada y salida, calidad del agua de la balsa, y capacidad de agua almacenada. Para los tres primeros, la tecnología está muy avanzada; sin embargo, el cálculo de la capacidad almacenada depende, además de conocer la altura de la lámina de agua (que puede ofrecerla un sensor), el conocimiento de las características de la balsa, y realizar unos cálculos para poder obtener el valor de volumen. Se ha realizado un estudio para conseguir calcular dicha capacidad de forma sencilla empleando la plataforma GENHIDRO (5). Se abre la posibilidad de establecer una línea de trabajo encaminada a generar algoritmos de gestión integrados en GENHIDRO, que permitan englobar los cuatro parámetros mencionados para una gestión óptima; incluso poder incluir estimaciones de las pérdidas por evaporación, para darle sentido económico a la gestión.

2.2 Estaciones de bombeo y sistemas de captación de agua en redes presurizadas.

No se ha realizado aún ningún trabajo al respecto, pero es conocido y ampliamente implementado el uso de variadores de frecuencia para conseguir que las estaciones de bombeo ofrezcan el caudal demandado a una presión determinada, generando un ahorro de energía. Es de interés el inicio de una línea de investigación para analizar todos los parámetros de gestión del motor que ofrece el variador de frecuencia, más los parámetros hidráulicos de caudal y presión, a fin de integrarlos en la plataforma GENHIDRO, y poder mejorar la eficiencia energética del riego.

2.3 Estaciones de filtrado

Los sistemas de filtrado están ampliamente desarrollados, tanto en la parte mecánica como en la parte de control. En la mayoría de los casos, los programadores de riego disponen de algoritmos de control para conseguir la correcta automatización de sus limpiezas; además, se puede disponer de programadores de limpieza de filtros totalmente independientes y autónomos. Sin embargo, registro continuo de la información acerca de tiempos de limpieza, presiones de trabajo, frecuencia de limpiezas, etc., puede aportar conocimiento para la evaluación y el mantenimiento preventivo de los sistemas de filtrado, reduciendo así los costes de explotación.

2.4 Equipos de fertirrigación

Entendemos equipo de fertirrigación como al conjunto de elementos que hacen posible la inyección de fertilizantes a la instalación de riego (depósitos, agitadores, inyector, etc). La forma de inyectar el fertilizante puede ser constante, donde un controlador mantiene un tiempo activo el inyector, al caudal que el equipo pueda ofrecer con regulación manual, o proporcional,

ajustando el caudal de inyección a una proporción con respecto al caudal de riego. Pero siempre, el usuario se tiene que adaptar a programar la fertirrigación en base a una serie de características de la instalación, y una serie de cálculos de la dilución realizada. Para facilitar la experiencia del usuario, y mejorar la calidad de la fertirrigación aplicada, se está trabajando en conseguir una interacción a través de GENHIDRO con el sistema de riego para alcanzar las expectativas del usuario: Se ha creado una base de datos de fertilizantes, sobre la que se pueden calcular las soluciones nutritivas; se está desarrollando el control de una bomba dosificadora inteligente desde la plataforma GENHIDRO; y se está integrando el control del sistema de fertirrigación desde la plataforma GENHIDRO para que sea éste el que se adapte a los criterios de programación del usuario, y no al contrario. No obstante, este campo es susceptible de abarcar más líneas de investigación, como sensorización de ion selectivo, entre otras.

2.5 Redes de distribución a nivel de parcela

Aún no se ha trabajado en este campo, pero hay margen de investigación para desarrollar herramientas de diseño, y, sobre todo, de manejo, de las redes, y de las válvulas, analizando su comportamiento con sensores, estableciendo modelos de estimación de pérdidas de carga, y control del correcto funcionamiento del sistema. Igualmente, se pueden desarrollar nuevos métodos de actuación para la apertura y cierre de válvulas, de menor coste y mayor fiabilidad que los existentes.

2.6 Monitorización de variables agroclimáticas

En este campo hay multitud de avances: con respecto al tema tecnológico, hay una amplia gama de oferta comercial tanto de sensores como de dataloggers; referente al manejo de la información, cada vez más son las compañías que disponen de software o plataformas capaces de manejar la información. Pero la integración de toda esta información con los sistemas de riego aún es incipiente. Así, todos los desarrollos encaminados a conseguir una buena monitorización de variables agroclimáticas están encaminados a la integración con los sistemas de riego, a fin de poder actuar de forma autónoma en base a algoritmos que establezcan criterios objetivos.

En este sentido, se enumeran las principales actuaciones que se han realizado: Se han analizado los cultivos objetivo de un lisímetro de pesada para establecer las dimensiones óptimas para hacerlo estándar (1); se han desarrollado ensayos en campo a fin de obtener un equipo de lisimetría robusto y fiable, cuya información sea útil para el agricultor, dando lugar a bastantes algoritmos (2,6,7); se ha trabajado con sensores de humedad de menor coste (8,9); se ha trabajado para incorporar información agroclimática pública para el empleo en las decisiones del manejo de riego (10).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales resultados recogidos a lo largo de toda la trayectoria han permitido contribuir al desarrollo de sencillas herramientas que pueden ayudar a una gestión eficiente de la fertirrigación, que conforman una gran herramienta basada en la plataforma GENHIDRO, que está en continuo desarrollo: Se ha conseguido un diseño robusto y fiable de un lisímetro de pesada portable, con el desarrollo en paralelo de distintos algoritmos que facilitarán la interpretación de los datos de forma autónoma, para dar más valor al usuario; se han evaluado sensores de bajo coste, apoyándose en lisimetría; se han desarrollado herramientas de gestión de información (fertilizantes, clima, etc.) destinadas a facilitar la interpretación por parte del usuario, así como la labor de gestión de la fertirrigación (1,2,6,8-10).

Con lo avanzado en todos los trabajos, y el avance que se está desarrollando de la conexión de la información a equipos de programación de riego, podemos ser capaces de controlar de forma autónoma los sistemas de riego. Sin embargo, queda mucho campo por investigar, aparte de lo avanzado previamente, sobre todo en cuanto a los criterios de manejo de la dosis de riego y fertilizantes, en función de parámetros como la pluviometría de riego, infiltración del terreno,

escorrentía superficial, evolución de la capacidad de campo del suelo, efectos de tratamientos de agua contra la cal, entre otras.

4. CONCLUSIONES

Con los pasos que se han dado, que se están integrando en la plataforma GENHIDRO, podemos dar impulso al empleo de todas las nuevas tecnologías que se están desarrollando para el riego inteligente, pudiendo extender su empleo al sector agrícola

5. AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto de Investigación y Desarrollo con referencia IDI-20190146, titulado “Desarrollo e implantación de un equipo de ferticontrol por lisimetría de pesada para uso en agricultura intensiva”, en colaboración con la empresa AGROSOLMEN, S.L., cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Operativo Plurirregional de España 2014-2020. Y al Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, principalmente al Dr. José Miguel Molina Martínez y a la Dra. Dolores Parras Burgos, por su disposición constante y ayuda incondicional para conseguir los objetivos alcanzados. Y al Dr. Diego S. Intrigliolo Molina, siempre aportando su experiencia investigadora, que me anima a mejorar cada día.

6. REFERENCIAS

1. Soler-Méndez M, Parras-Burgos D, Mas-Espinosa E, Ruíz-Canales A, Intrigliolo DS, Molina-Martínez JM. Standardization of the dimensions of a portable weighing lysimeter designed to be applied to vegetable crops in mediterranean climates. *Sustainability*. 2021 Feb;13(4):2210.
2. Soler-méndez M, Parras-burgos D, Cisterne-lópez A, Mas-espinosa E, Intrigliolo DS, Molina-martínez JM. Development of an algorithm for an automatic determination of the soil field capacity using of a portable weighing lysimeter. *Sensors*. 2021 Oct;21(21):7203.
3. Zinkernagel J, Maestre-Valero JF, Seresti SY, Intrigliolo DS. New technologies and practical approaches to improve irrigation management of open field vegetable crops. *Agricultural Water Management*. 2020;242:106404.
4. Soler-Méndez M, Ávila-Dávila L, Parras-Burgos D, Ruiz-Lozano L, Ruiz-Canales A, Molina-Martínez JM. Propuesta de plataforma de gestión global del riego y los nutrientes. In: Mendes S, Valín I, editors. *II Symposium Ibérico de Ingeniería Hortícola*. Lisboa: Asociación Portuguesa de Horticultura; 2020. p. 149–56.
5. Soler-Méndez M, Parras-Burgos D, Fernández-Pacheco DG, Intrigliolo DS, Molina-Martínez JM. Cálculo de capacidad de una balsa de riego mediante delimitación sobre ortofoto. In: Ferrández-Villena García M, Ruiz Canales A, Molina Martínez JM, Parras Burgos D, editors. *III Symposium Ibérico de Ingeniería Hortícola*. Cartagena: Sociedad Española de Ciencias Hortícolas; 2022. p. 52–52.
6. Ávila-Dávila L, Molina-Martínez JM, Bautista-Capetillo C, Soler-Méndez M, Roveló COR, Júdez-Ferreira HE, et al. Estimation of the evapotranspiration and crop coefficients of bell pepper using a removable weighing lysimeter: A case study in the southeast of Spain. *Sustainability (Switzerland)*. 2021 Jan;13(2):747.
7. Ávila-Dávila L, Soler-Méndez M, Bautista-Capetillo CF, González-Trinidad J, Júdez-Ferreira HE, Roveló COR, et al. A compact weighing lysimeter to estimate the water infiltration rate in agricultural soils. *Agronomy*. 2021 Jan;11(1):180.
8. Soler-Méndez M, Parras-Burgos D, Cisterne-López A, Mas-Espinosa E, Intrigliolo DS, Molina-Martínez JM. Obtención automática del punto de capacidad de campo a través de sensores de humedad de suelo. In: García Martínez S, Serrano Mula M, editors. *II Congreso Universitario en Innovación y Sostenibilidad Agroalimentaria*. Orihuela: Universidad Miguel Hernández de Elche; 2021. p. 403–9.
9. Rodríguez Fernández S. Evaluación y puesta en marcha de un sensor NB-IoT inalámbrico de largo alcance para registro de datos al aire libre para su empleo en agricultura. Cartagena; 2021 Jun.
10. Soler-Méndez M, Parras-Burgos D, Benouna-Bennouna R, Molina-Martínez JM. Agroclimatic Evolution web application as a powerful solution for managing climate data. *Scientific Reports [Internet]*. 2022;12(1):6716. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-10316-7>

Desarrollo de un nuevo indicador del estado hídrico de las plantas basado en el espectro foliar

Development of a novel plant water status indicator based on leaf spectrum

P. Berríos*, A. Pérez-Pastor

Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. P^o Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*pablo.berrios@edu.upct.es

Resumen

El potencial hídrico de tallo es el indicador más comúnmente utilizado para evaluar el estado hídrico de las plantas debido a su elevada sensibilidad a la demanda climática y al régimen de riego, a pesar de su baja escala espacial y temporal. El objetivo de nuestro trabajo fue evaluar otros indicadores, como la firma espectral a nivel foliar emitida por mandarinos adultos sometidos a distintas intensidades de estrés hídrico, que nos permitan estimar el estado hídrico del cultivo a una mayor escala. La emisión de radiaciones de longitud de onda de 1000 nm, y el rango entre 1540-1740 nm (SWIR) permitieron diferenciar los niveles de estrés de manera significativa. A través de la combinación de distintas longitudes de onda y estructuras de índice identificamos un nuevo indicador altamente sensible al estado hídrico, denominado Índice de Relación Infrarrojo Visible (VIRI), muy bien correlacionado con el potencial hídrico de tallo. Este índice podría ser un complemento válido para la programación del riego a una escala mayor de parcela

Palabras clave: teledetección; estrés hídrico; firma espectral.

Abstract

Stem water potential is the most used indicator to assess plant water status due to its high sensitivity to climatic demand and irrigation regime, despite its low spatial and temporal scale. The aim of our work was to evaluate other indicators, such as the leaf-scale spectrum emitted by adult mandarin trees subjected to different water stress intensities, which allow us to estimate the plant water status at a larger scale. The emission of radiation at a wavelength of 1000 nm, and the range between 1540-1740 nm (SWIR) allowed us to differentiate the levels of stress in a significant way. Through the combination of different wavelengths and index structures we identified a new indicator highly sensitive to water status, called Visible Infrared Ratio Index (VIRI), which correlates very well with stem water potential. This index could be a valid complement for irrigation scheduling at a larger plot scale.

Keywords: remote sensing; water stress; spectrum.

1. INTRODUCTION

Existen diversos indicadores del estado hídrico de las plantas útiles para la programación del riego, entre ellos, el más ampliamente estudiado y validado en cultivos leñosos es el potencial hídrico del tallo, puesto que al ser una medida a nivel de planta, presenta alta sensibilidad al régimen de riego y a las condiciones ambientales (1,2). Sin embargo, es una medida de baja escala espacial y temporal, dado que existe un acotado período para las evaluaciones y no permite

alcanzar la representatividad necesaria para determinar el estado hídrico de grandes superficies. Asimismo, requiere personal técnico cualificado lo que limita su practicidad.

El avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido el desarrollo de sensores capaces de medir la firma espectral de los objetos, abriendo una ventana de posibilidades para poder caracterizar de forma remota y a una mayor escala temporal y espacial los cultivos agrícolas. Existen diversas utilidades de la teledetección en la agricultura y en nuestro caso, el objetivo de esta investigación fue evaluar la sensibilidad de la firma espectral a nivel foliar de mandarinos sometidos a distintas intensidades de estrés hídrico y explorar nuevos indicadores que permitan estimar el estado hídrico del cultivo a mayor escala.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una finca comercial de mandarinos adultos (*Citrus reticulata* Blanco) cv. Clemenvilla durante dos ciclos consecutivos. La plantación se estableció en 2000, a un marco de plantación de 6 x 4 m y es regado mediante un sistema de riego localizado, a través de una línea de goteros por hilera de árboles y 4 goteros por árbol de 4 L h⁻¹ de caudal. Los árboles fueron sometidos a tres intensidades de estrés hídrico a partir del potencial hídrico de tallo a mediodía solar (Ψ_s): i) sin estrés, $\Psi_s > -0,9$ MPa; ii) estrés moderado, $-0,9 \geq \Psi_s \geq -1,3$ MPa y iii) estrés severo, $-1,3 > \Psi_s \geq -1,8$ MPa (3-6). El estrés hídrico se realizó mediante la supresión total del riego durante el crecimiento del fruto. El diseño experimental consistió en 3 repeticiones por tratamiento (nivel de estrés hídrico), formado por 3 filas de 5 árboles cada una por repetición, sirviendo la fila central de árboles testigo, y actuando de bordes las dos externas.

Para determinar la firma espectral a nivel foliar, se utilizó un espectroradiómetro portátil modelo FieldSpec® 3 con una sonda de contacto y su propia fuente de luz (ASD Inc., USA) que permitió analizar un rango espectral entre 350 y 2500 nm. Las mediciones se realizaron a mediodía solar en 20 hojas maduras expuestas al sol del tercio superior medio de cada árbol de cada repetición, y cada medición correspondió a la media de diez lecturas del sensor. El espectroradiómetro genera automáticamente la curva de reflectancia cada 1 nm, pero debido a que generalmente las longitudes de onda cercanas están altamente correlacionadas se filtraron los datos cada 10 nm para evitar información redundante (7).

Se realizó un ANDEVA al 5% de significancia para cada longitud de onda de las firmas espectrales de cada intensidad de estrés. Para explorar nuevos índices a partir de bandas hiperespectrales estrechas, y para optimizar el ajuste en la estimación del Ψ_s mediante regresión lineal, se utilizó el método λ -por- λ para determinar la combinación de bandas que permite el mejor ajuste como R^2 con la variable respuesta (7,8). El método λ -por- λ y la exploración de los modelos de regresión lineal se realizaron con el módulo "Statistical functions (scipy.stats)" de Python 3.9.7 (9).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La firma espectral a nivel foliar fue sensible al estrés hídrico severo en una gran parte de las longitudes de onda estudiadas. Las hojas sometidas a estrés hídrico presentaron una mayor reflectancia que las de árboles sin limitaciones hídricas y esta diferencia se incrementó a medida que el déficit hídrico fue mayor. En el caso de los árboles con estrés hídrico moderado, la reflectancia fue significativamente mayor en la región del infrarrojo cercano (NIR) (excepto 930-990 nm), y en el rango de 1530 a 1780 nm de la región SWIR. La longitud de onda de 1000 nm, y el rango entre 1540 y 1740 nm (SWIR) presentaron diferencias significativas simultáneamente para las tres intensidades de estrés hídrico (Fig. 1).

La metodología λ -por- λ permitió combinaciones de longitudes de ondas y la inclusión de bandas estrechas como constantes para optimizar diferentes estructuras de índices y determinar su ajuste en la predicción del Ψ_s . Aunque las combinaciones lineales mostraron un ajuste significativo, R^2 fue relativamente bajo para la predicción. Cuando se incorporaron a la estructura

del índice las longitudes de onda sensibles al déficit hídrico del apartado anterior fue posible incrementar el ajuste del modelo (Tabla 1). En este sentido, el nuevo Índice de Relación Infrarrojo Visible (VIRI) propuesto por la combinación de las bandas estrechas descritas en la Ec. 1, nos permitió estimar significativamente el Ψ_s según la Ec. 2:

$$\text{VIRI} = (R_{370}/R_{680})/(R_{1000} \cdot R_{1640}) \quad (1)$$

$$\hat{\Psi}_s \text{ (MPa)} = -2,97 + 0,5183 \cdot \text{VIRI} \quad (R^2 = 0,37^{***}) \quad (2)$$

Además, el índice propuesto presentó una elevada sensibilidad al déficit hídrico, siendo muy similar a la del potencial hídrico de tallo y el contenido volumétrico de agua en el suelo (datos no mostrados).

4. CONCLUSIONES

Las longitudes de onda en la región del infrarrojo de onda corta (SWIR) entre 1540 y 1740 nm permitieron diferenciar los diferentes grados de estrés hídrico a los que fueron sometidos los árboles. Por lo tanto, estos resultados pueden considerarse como una base inicial para determinar el estado hídrico de mandarinos adultos sometidos a varias intensidades de estrés mediante teledetección.

El nuevo indicador del estado hídrico, denominado Índice de Relación Infrarroja Visible (VIRI), mostró una elevada sensibilidad al estrés hídrico y permitió estimar significativamente el potencial hídrico de tallo, por lo que este índice podría ser un complemento válido para la programación del riego a una escala mayor de parcela.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Comisión Europea (Proyecto DIVERFARMING, H2020-RUR-06-2016) y la Agencia Nacional de Investigación de España (PID2019-106226RB-C22).

6. REFERENCIAS

1. Shackel KA, Ahmadi H, Biasi W, Buchner R, Goldhamer D, Gurusinghe S, et al. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology*. 1997;7(1):23-9.
2. Naor A. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Hort.* 2000;537:447-54.
3. González-Altozano P, Castel JR. Effects of Regulated Deficit Irrigation on "Clementina de Nules" citrus trees growth, yield and fruit quality. *Acta Hort.* 2000;537:749-58.
4. Conesa MR, García-Salinas MD, de la Rosa JM, Fernández-Trujillo JP, Domingo R, Pérez-Pastor A. Effects of deficit irrigation applied during fruit growth period of late mandarin trees on harvest quality, cold storage and subsequent shelf-life. *Sci Hort.* (Amsterdam) [Internet]. 2014 Jan 22 [cited 2019 Apr 18];165:344-51. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423813006031>
5. Ballester C, Castel J, El-Mageed TAA, Castel JR, Intrigliolo DS. Long-term response of 'Clementina de Nules' citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agric Water Manag.* 2014 May;138:78-84.
6. Pagán E, Robles JM, Temnani A, Berríos P, Botía P, Pérez-Pastor A. Effects of water deficit and salinity stress on late mandarin trees. *Sci Total Environ.* 2022 Jan;803:150109.
7. Thenkabail PS, Lyon J, Huete A. Advances in Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation and Agricultural Croplands. In: Prasad S, Thenkabail, John G, Lyon, Alfredo Huete, editors. *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation* [Internet]. Second. CRC Press; 2016 [cited 2021 Sep 23]. p. 39-74. Available from: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439845387/chapters/10.1201/b11222-8>
8. Yu K, Gnyp ML, Gao L, Miao Y, Chen X, Bareth G. Estimate leaf chlorophyll of rice using reflectance indices and partial least squares. *Photogramm Fernerkundung, Geoinf.* 2015 Feb;45-54.
9. Python Core Team. Python: A dynamic, open source programming language [Internet]. Python Software Foundation; 2015. Available from: <https://www.python.org/>

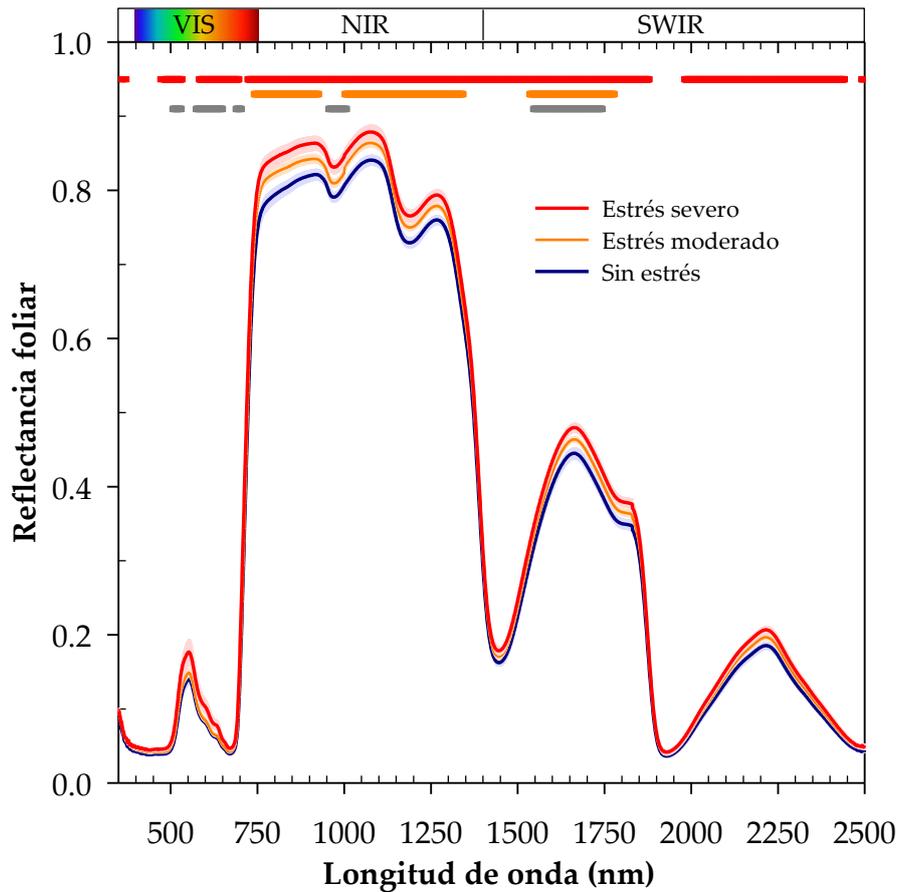


Figura 1. Firma espectral de hojas de mandarinos adultos sometidos a estrés hídrico severo, moderado y sin estrés hídrico. Medias±error estándar, $n=3$. Las líneas horizontales superiores roja, anaranjada y gris indican diferencias significativas entre la intensidad del estrés hídrico para cada longitud de onda: severo y sin estrés, moderado y sin estrés y moderado y severo, respectivamente; según ANDEVA ($p<0,05$). VIS: espectro visible; NIR: infrarrojo cercano y SWIR: infrarrojo de onda corta.

Tabla 1. Mejores combinaciones de longitudes de onda obtenidas mediante el método λ -por- λ entre 350-2500 nm para estimar el potencial hídrico de tallo mediante modelo de regresión lineal ($Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$).

Estructura de índice X	Longitud de onda (nm)		β_0	β_1	R^2	Significancia
	i	j				
$R_i - R_j$	1510	2460	2,54	18,22	0,3079	$p<0,001$
R_i/R_j	1020	1030	-311,1	307,82	0,2783	$p<0,001$
$(R_i - R_j)/(R_i + R_j)$	1020	1030	3,35	620,20	0,2783	$p<0,001$
$(R_i - R_j)^2/R_{1640}$	1520	2460	-2,03	3123,2	0,3133	$p<0,001$
$(R_i - R_j)^2/R_{1000}$	2390	2450	-2,29	26113,3	0,2585	$p<0,001$
$(R_i/R_j)/(R_{1000} \cdot R_{1640})$	370	680	-2,97	0,5183	0,3706	$p<0,001$

El índice destacado en negrita corresponde al de mayor ajuste.

Efecto del estrés hídrico y del sistema de cultivo en diferentes índices térmicos de limeros jóvenes

Effect of water stress and cropping system in different thermal indices of young lime trees

A.B. Mira-García*, W. Conejero, J. Vera, E. Nicolás, M.C. Ruiz-Sánchez

Departamento Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)-CSIC. Apartado 164, Campus de Espinardo, 30100, Murcia, España.

*abmira@cebas.csic.es

Resumen

En el área mediterránea está aumentando el uso de mallas de sombreo como protección frente a estreses a/bióticos. El objetivo de este ensayo fue evaluar en limeros la respuesta de índices basados en la temperatura del dosel vegetal (T_c) en diferentes condiciones de riego (estrés y control) y de cultivo (aire libre y sombreo). El ensayo se llevó a cabo en verano-otoño de 2021 en limeros *Bearss* de 5 años. Junto a medidas del estado hídrico de suelo y planta, se monitorizó de forma continua la temperatura del aire (T_a) y del dosel vegetal (T_c), calculándose varios índices térmicos: T_c-T_a , CWSI. Los resultados mostraron un mejor estado hídrico de los limeros cultivados bajo malla de sombreo, con valores más bajos de T_c , T_c-T_a y CWSI que los cultivados al aire libre. Las condiciones de sombreo permitieron un mejor estado hídrico del cultivo y un menor consumo de agua.

Palabras clave: *Citrus latifolia* Tan.; malla de sombreo; relaciones hídricas; temperatura del dosel vegetal.

Abstract

In the Mediterranean area, the use of shading nets as protection against a-/biotic stresses is increasing. The objective of this trial was to evaluate the response of canopy temperature (T_c) based indices in lime trees under different irrigation (stress and control) and growing conditions (open air and shading). The trial was conducted in summer-autumn 2021 on 5-year-old *Bearss* lime trees. In addition to measurements of soil and plant water status, air (T_a) and canopy (T_c) temperature were continuously monitored, and several thermal indices were calculated: T_c-T_a , CWSI. The results showed a better water status of lime trees grown under shade netting, with lower values of T_c , T_c-T_a and CWSI than those grown in open-air. The shading conditions allowed a better water status of the crop and a lower water consumption.

Keywords: *Citrus latifolia* Tan.; shading net; water relations; canopy temperature.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la lima está ganando importancia en la región mediterránea. En los próximos años como resultado del cambio climático, se prevé un aumento de la temperatura del aire con especial incidencia en esta región (1), impactando directamente en el ciclo hidrológico y en la disponibilidad de recursos hídricos. Ante esta situación se hace necesario un manejo preciso del riego, a fin de hacer un uso eficiente del agua. En este sentido el uso de indicadores de estrés hídrico en la programación del riego resulta muy interesante ya que permiten ajustar la cantidad de agua aplicada a la que necesita la planta en cada momento, aumentando la eficiencia del uso del agua. Tradicionalmente, el potencial hídrico foliar o de tallo, así como la conductancia

estomática, han sido considerados unos buenos indicadores de estado hídrico de la planta. Sin embargo, sus medidas son puntuales, laboriosas y consumen mucho tiempo. Por el contrario, otros indicadores del estado hídrico, basados en la temperatura del dosel vegetal (T_c) y sus índices derivados, nos permiten monitorizar remotamente y de forma continua el estado hídrico de la planta.

La habilidad para detectar el estrés hídrico de los indicadores de estado hídrico se puede ver influenciada por el sistema de cultivo empleado. Por lo tanto, el principal objetivo del presente trabajo es el de evaluar en limeros jóvenes la respuesta de índices basados en T_c a diferentes condiciones de riego (control y estrés por supresión del riego) y de cultivo (aire libre y malla de sombreo).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante los meses de verano-otoño de 2021 (día del año (DDA) 158 hasta 298) en una parcela de 0,8 ha de la finca experimental del CEBAS-CSIC en Santomera, Murcia. El material vegetal utilizado fueron limeros (*Citrus latifolia* Tan.) de 5 años de la variedad 'Bearss' injertados sobre *Citrus macrophylla* L. plantados en mesetas (2 m alto y 0,4 m ancho) a un marco de plantación de 6 x 5 m.

Se evaluaron dos sistemas de cultivo: aire libre y bajo malla de sombreo, cada uno consistente en 5 filas de 13 árboles cada una. La malla de sombreo era de color blanco y tenía una transmisión de luz del 76%.

Los tratamientos de riego consistieron en un control y un estrés. Los árboles control fueron regados de forma automática a lo largo de todo el ensayo de acuerdo con el contenido volumétrico del agua en el suelo medido en el perfil 0,2-0,6 con sondas TDR (315H, Acclima), iniciándose el riego cuando el 30% del máximo agotamiento permisible se alcanza y finalizándose al alcanzarse la capacidad de campo. Los árboles estrés fueron sometidos a supresión del riego del DDA 158 al 267, momento a partir del cual se regaron como los árboles control hasta el final del ensayo.

Las condiciones ambientales como la temperatura del aire (T_a), humedad relativa y velocidad del viento fueron registradas de forma continua en ambos sistemas de cultivo haciendo uso de estaciones meteorológicas. A lo largo del período experimental se realizaron medidas discretas del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) e intercambio gaseoso foliar empleando para ello una cámara de presión (3000, Soil Moisture) y un sistema portátil de fotosíntesis (LI-6400, LI-COR), respectivamente. A su vez, se monitorizó de forma continuada la temperatura del dosel vegetal (T_c) con termo-radiómetros (SI-431, Apogee). A partir de T_c se calcularon los índices térmicos: $T_c - T_a$ y CWSI ($\text{CWSI} = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{\text{LI}}}{(T_c - T_a)_{\text{LS}} - (T_c - T_a)_{\text{LI}}}$). Siendo $(T_c - T_a)_{\text{LI}}$ el límite inferior de $(T_c - T_a)$ para un determinado déficit de presión de vapor (DPV). Mientras que el $(T_c - T_a)_{\text{LS}}$ es un valor fijo, correspondiendo al valor máximo de $(T_c - T_a)$ registrado durante el período.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los árboles del tratamiento control mostraron valores de adecuado estado hídrico en suelo y planta (datos no mostrados), mientras que los árboles estrés revelaron una situación de déficit hídrico severo ($\Psi_{\text{tallo}} = -3$ MPa) al final del periodo de supresión del riego. La temperatura del dosel vegetal (T_c) fluctuó a lo largo del día mostrando valores más bajos en la noche y más altos durante el día (Fig. 1). Estas fluctuaciones de T_c son el resultado, junto a otros factores ambientales, de las variaciones en la conductancia estomática, ya que ambas están muy correlacionadas (2). Los valores máximos de T_c fueron 44,5 y 45,7°C en los árboles control cultivados al aire libre y bajo malla de sombreo respectivamente, y por encima de 48°C en los árboles estrés de ambos sistemas de cultivo (Fig. 1). El índice $T_c - T_a$ también fluctuó a lo largo del día, pero en menor medida que T_c con valores negativos por la noche y positivos durante el día (Fig. 2), siendo mayores en los árboles del tratamiento estrés. Resultados similares se observaron en otros estudios realizados en el cultivo de pomelo (3). A pesar de que los valores de T_a más altos se registraron en

condiciones de sombreado, los de T_c-T_a fueron más bajos que al aire libre, con valores máximos y mínimos diarios promedio de 4,3 y 2,6°C en los árboles control y 6,3 y 4,4°C en los árboles estrés, respectivamente. Esto indica un mejor acoplamiento del árbol con sus condiciones ambientales bajo malla de sombreado.

La relación entre T_c-T_a y el DPV (límite inferior para el cálculo de CWSI) mostró un alto grado de histéresis, con una muy baja correlación en los valores a mediodía, por ello, se seleccionaron los valores correspondientes al intervalo 9:00-10:00 h para los árboles cultivados al aire libre y de 10:00-12:00 h para los de sombreado. Como límite superior $(T_c-T_a)_{LS}$ se seleccionó el valor máximo de T_c-T_a en esos intervalos de tiempo.

Los árboles cultivados al aire libre mostraron valores de CWSI más altos que los cultivados bajo malla de sombreado (Fig. 3), manteniéndose cercanos a cero los bien regados mientras que los árboles estresados mostraron valores más altos ≈ 1 , como indican otros autores en cítricos (4). No obstante, hay que señalar que el cálculo de este índice resultó demasiado empírico y muy dependiente de la hora del día, por lo que se propone profundizar en el cálculo de otros índices derivados.

4. CONCLUSIONES

La automatización del riego en base al contenido volumétrico de agua en el suelo aseguró un adecuado estado hídrico de las plantas control. El sistema de cultivo afectó a la habilidad para detectar el estrés de los diferentes índices térmicos estudiados. Las condiciones de sombreado permitieron un mejor estado hídrico del cultivo y un menor consumo de agua, retrasando así el desarrollo del estrés hídrico en planta.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos del Plan Nacional-AEI (PID2019-106226RB-C21/AEI/10.13039/501100011033) y de la Fundación Séneca de la Región de Murcia-Ayudas a Grupos de Excelencia Científica (19903/GERM/15).

6. REFERENCIAS

1. MedECC. Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. A Prelim Assess by MedECC Netw Sci interface. 2019;36.
2. Lima RSN, García-Tejero I, Lopes TS, Costa JM, Vaz M, Durán-Zuazo VH, et al. Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. *Agric Water Manag.* 2016;164:148-57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.017>
3. Romero-Trigueros C, Bayona Gambín JM, Nortés Tortosa PA, Alarcón Cabañero JJ, Nicolás Nicolás E. Determination of crop water stress index by infrared thermometry in grapefruit trees irrigated with saline reclaimed water combined with deficit irrigation. *Remote Sens.* 2019;11(7):757. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/7/757>
4. González-Dugo V, Zarco-Tejada PJ, Fereres E. Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agric For Meteorol.* 2014;198:94-104. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192314001841>

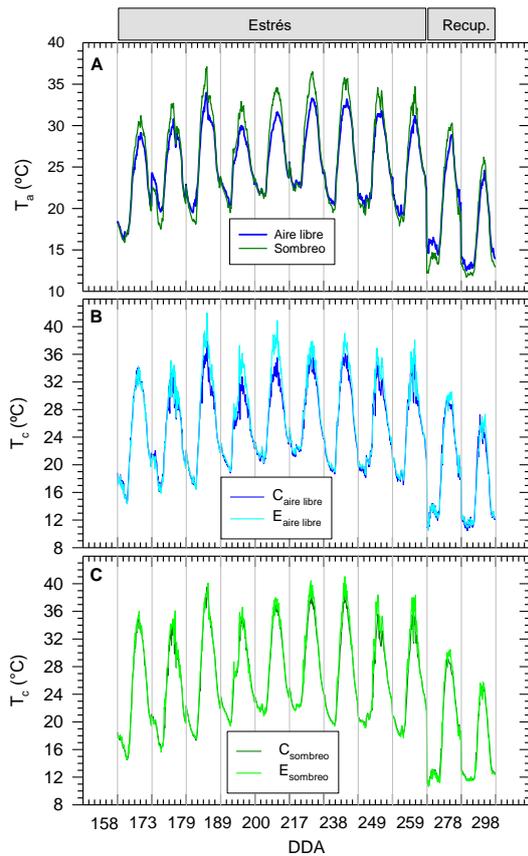


Figura 1. Evolución diaria: **(A)** temperatura del aire (T_a), **(B y C)** y del dosel vegetal (T_c) en los árboles control ($C_{\text{aire libre}}/C_{\text{sombreo}}$) y estrés ($E_{\text{aire libre}}/E_{\text{sombreo}}$) cultivados al aire libre y bajo malla de sombreado.

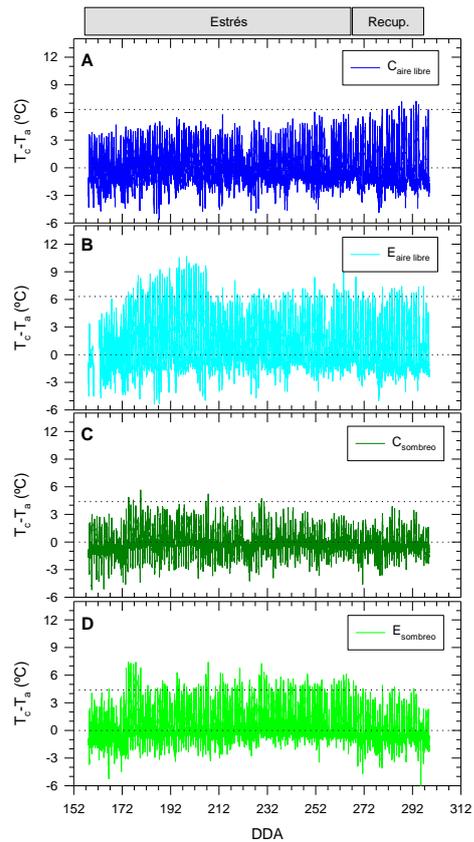


Figura 2. Diferencia de DDA de temperatura entre el dosel vegetal y del aire ($T_c - T_a$) **(A y C)** en los árboles control ($C_{\text{aire libre}}/C_{\text{sombreo}}$) y **(B y D)** estrés ($E_{\text{aire libre}}/E_{\text{sombreo}}$) cultivados al aire libre y bajo malla de sombreado.

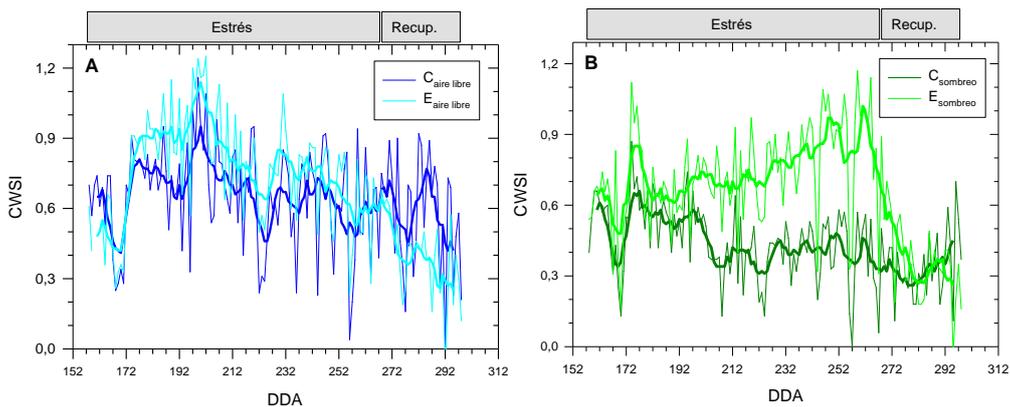


Figura 3. Crop water stress index (CWSI): **(A)** de los árboles control y estrés cultivados al aire libre ($C_{\text{aire libre}}/S_{\text{aire libre}}$) y **(B)** y bajo malla de sombreado ($C_{\text{sombreo}}/E_{\text{sombreo}}$).

Efecto del déficit hídrico en post-envero sobre la producción y calidad de uva de mesa

Effect of post-veraison water deficit on the production and quality of table grapes

A. Temnani Rajjaf*, A. Pérez-Pastor

Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena, Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*abdelmalek.temnani@edu.upct.es

Resumen

Las técnicas de cultivo suelen influir sobre la calidad de la uva. Una de ellas es la aplicación de estrategias de riego deficitario, que permitiría, además, incrementar la eficiencia de uso del agua de riego, cuestión fundamental en zonas semiáridas. No obstante, estas requieren de una adecuada planificación para que la producción y la calidad de la uva no se vean afectadas negativamente. El objetivo de este trabajo fue determinar la intensidad de estrés hídrico que permita maximizar el rendimiento y la calidad de la baya en el momento de la cosecha. Así, se establecieron distintas relaciones entre la integral de estrés hídrico, el rendimiento, la firmeza y el color de la baya, a partir de los resultados obtenidos en dos parcelas comerciales, en los que se aplicaron distintas estrategias de riego deficitario entre los años 2011 y 2017.

Palabras clave: riego; vid; estrés; potencial.

Abstract

Cultivation techniques often influence the quality of the grape. One of them is the application of deficit irrigation strategies, which would also allow increasing the irrigation water use efficiency, a fundamental issue in semi-arid areas. However, these require proper planning so that the production and quality of the grapes are not negatively affected. The objective of this work was to determine the intensity of water stress that allows maximizing the yield and quality of the berry at harvest time. Thus, different relationships were established between the water stress integral, yield, firmness, and berry color, based on the results obtained in two commercial plots, in which different deficit irrigation strategies were applied between the years 2011 and 2017.

Keywords: irrigation; vine; stress; potential.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) en la Región de Murcia representa casi el 50% de la superficie cultivada a nivel nacional (1), entre ellas, el cv. Crimson Seedless se caracteriza por su alta calidad y aceptación del mercado (2). En climas del tipo Mediterráneo, las altas temperaturas y baja variación térmica afectan positivamente a la coloración de las bayas, que es el principal parámetro de calidad junto con la firmeza para la aceptación del producto por parte del consumidor (3,4). En este sentido, diferentes técnicas de cultivo influyen, a su vez, de manera determinante en estos parámetros de calidad, tales como la regulación de la carga frutal, el control del vigor del cultivo, la aplicación de reguladores de crecimiento y la aplicación de estrategias de riego deficitario. Este tipo de estrategias, bien planificadas, mejoran notablemente la calidad de la baya y, además, incrementan la eficiencia de uso del agua de riego. Por este motivo,

este estudio tuvo como principal objetivo, determinar la intensidad de estrés hídrico que permita maximizar tanto el rendimiento productivo como la calidad de la baya en el momento de la cosecha.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó a partir de las estrategias de riego aplicadas en dos fincas comerciales de uva de mesa cv. Crimson Seedless, entre los años 2011 y 2017, ubicadas en la Región de Murcia (España). Esta base de datos fue obtenida a partir de las investigaciones realizadas por Conesa et al. (2,5) y Temnani et al. (6). Los regímenes de riego fueron: i) Control (CTL), las vides se regaron al 110% de la ETc según el método de la FAO (7); ii) Riego deficitario controlado (RDC), con riego como CTL, excepto durante el periodo considerado no crítico del post-envero (5,6,8), momento en el que se regaron al 50% del CTL; iii) Desechado Parcial de raíces (DPR), con riego como RDC, pero alternando los lados húmedo y seco de la zona radicular cada 10-14 días, cuando se alcanzaba el 75% de la capacidad de campo del suelo en la zona radicular desecada; iv) Secano (NI), las vides sólo recibieron agua de lluvia y un riego suplementario ocasional cuando el potencial hídrico del tallo (Ψ_s) era inferior a $-1,2$ MPa. El diseño experimental consistió en bloques al azar, con tres repeticiones, de tres hileras adyacentes con 7 vides en cada una de ellas. Las 5 vides centrales de la hilera central se utilizaron para las mediciones, mientras que las demás se utilizaron como bordes.

El estado hídrico de las vides se monitorizó midiendo el potencial hídrico del tallo al mediodía (Ψ_s) con una cámara de presión Modelo 3000 (Soil Moisture Equipment, Santa Bárbara, E.E. U.U.), cada 7-14 días, en 2 hojas por repetición siguiendo las recomendaciones de Hsiao (9). La intensidad del estrés hídrico se determinó mediante el cálculo de la integral de estrés hídrico ($S\Psi_s$) acumulada durante el período de post-envero, utilizando la ecuación definida por Myers (10): $S\Psi_s(\text{MPa día}) = \sum(\Psi_{i,i+1} - \Psi_c)n$; donde, $\Psi_{i,i+1}$ es la media del potencial de tallo para cada medida i e $i+1$; Ψ_c es el máximo potencial medido en el CTL y n es el número de días entre cada medición.

El rendimiento, expresado en kilogramos por vid, correspondió a la suma de cada cosecha de la temporada.

El color de las bayas se calculó como el índice de color de las uvas rojas (CIRG) (11). Primero, se obtuvieron las coordenadas del espacio de color CIELAB: L^* (luminosidad), a^* (rojo a verde) y b^* (azul a amarillo) midiendo en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial de 15 bayas por repetición con un colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Osaka, Japón). A partir de estos valores, se calcularon los parámetros cromaticidad (C^*) y el ángulo de tono ($^{\circ}\text{hue}$) mediante las ecuaciones: $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ y $^{\circ}\text{hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$, y finalmente, se calculó el CIRG según $\text{CIRG} = (180 - ^{\circ}\text{hue})/(C^* + L^*)$.

La firmeza de las bayas (N) se evaluó en 20 bayas por repetición seleccionadas al azar y se obtuvo como la fuerza máxima necesaria para romper la piel en 5 mm en la zona ecuatorial, con un analizador de textura modelo LFRA 1500 (Middleboro, Brookfield, E.E. U.U.) equipado con una sonda cilíndrica de 4 mm de diámetro a una velocidad de 10 mm s^{-1} .

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig. 1 muestra la función de producción de la uva de mesa, en la que se relaciona la reducción de agua de riego aplicada y su incidencia en la producción. De esta forma se observa un valor umbral del 35% de reducción de agua a partir del cual, valores inferiores reflejan una reducción de la producción inferior al 9% (procedente de las estrategias de la aplicación de RDC y DPR, y valores superiores al umbral, una reducción lineal de ambos parámetros) procedente del tratamiento NI.

La Fig. 2 muestra la relación entre la integral de estrés hídrico ($S\Psi_s$), obtenida a partir de las medidas del potencial hídrico de tallo a mediodía, y el rendimiento, la firmeza y el color de la

baya. Los valores se han expresado como variables normalizadas, correspondiendo el valor 1 al máximo potencial de cada una. En la figura se observa que a medida que se incrementa el estrés hídrico, tanto el rendimiento como la firmeza de la baya se reduce, siendo el rendimiento en torno a un 10% más sensible al estrés hídrico que a la firmeza. Sin embargo, el color rojo de la baya se vio favorecido con el incremento del estrés hídrico, estabilizándose sus valores a partir de una SP_s de unos 30 MPa día. Por todo ello, se podría considerar un rango óptimo de SP_s , entre 22 y 30 MPa día, en el que las variables estudiadas experimentaron una leve reducción, respecto a su máximo valor: máximo potencial productivo (0,92), firmeza de las bayas (0,94) y su coloración (0,95).

4. CONCLUSIONES

En uva de mesa 'Crimson Seedless', la aplicación de riego deficitario durante el post-envero con una integral de estrés hídrico entre 22 y 30 MPa día correspondiente a un ahorro de agua en torno a un 35%, sin superar un potencial hídrico de tallo de -1,2 MPa, permitió al cultivo mostrar su máximo potencial productivo, sin afectar a la firmeza de las bayas y aumentando su coloración.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto AGL2010-19201-C04-04) y por la Agencia Estatal de Investigación (PID2019-106226RB-C22/AEI/ 10.13039/501100011033), la Unión Europea (LIFE13 ENV/ES/000539) y las Acciones de Programación Conjunta Internacional 2017 contempladas en el Programa Nacional de I+D+i orientado a los retos de la sociedad del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad-Agencia Estatal de Investigación (AEI) (PCIN-2017-091).

6. REFERENCIAS

1. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación del Gobierno de España. Anuario de Estadística [Internet]. Madrid; 2020 [cited 2022 Mar 17]. Available from: <https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2020/ANUARIO/AE20.pdf>
2. Conesa MR, de la Rosa JM, Artés-Hernández F, Dodd I, Domingo R, Pérez-Pastor A. Long-term impact of deficit irrigation on the physical quality of berries in 'Crimson Seedless' table grapes. *J Sci Food Agric* [Internet]. 2015 Sep [cited 2019 Apr 18];95(12):2510–20. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.6983>
3. Dokoozlian N, Peacock B, Luvisi D. *Crimson Seedless Production Practices*. 1989;510.
4. Pickering GJ, Wheeler SJ. Optimizing grape quality through soil management practices. *Agric Environ* [Internet]. 2003 [cited 2022 Apr 6];1(2). Available from: <https://www.researchgate.net/publication/267245869>
5. Conesa MR, Falagán N, de la Rosa JM, Aguayo E, Domingo R, Pérez-Pastor A. Post-veraison deficit irrigation regimes enhance berry coloration and health-promoting bioactive compounds in Crimson Seedless table grapes. *Agric Water Manag* [Internet]. 2016;163:9–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.026>
6. Temnani A, Conesa MR, Ruiz M, López JA, Berríos P, Pérez-Pastor A. Irrigation Protocols in Different Water Availability Scenarios for 'Crimson Seedless' Table Grapes under Mediterranean Semi-Arid Conditions. *Water* [Internet]. 2021 Dec 25 [cited 2020 Dec 25];13(1):22. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/1/22>
7. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. *Crop evapotranspiration*. FAO 56. Roma: FAO; 1998. p. 300.
8. Faci JM, Blanco O, Medina ET, Martínez-Cob A. Effect of post veraison regulated deficit irrigation in production and berry quality of Autumn Royal and Crimson table grape cultivars. *Agric Water Manag*. 2014 Mar 1;134:73–83.
9. Hsiao TC. Measurements of plant water status. *Agronomy* [Internet]. 1990 [cited 2020 Oct 22];(No. 30):243–79. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19900738728>
10. Myers BJ. Water stress integral—a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiol* [Internet]. 1988 [cited 2020 Jul 6];4(4):315–23. Available from: <https://academic.oup.com/treephys/article/4/4/315/1620609>
11. Carreño J, Martínez A, Almela L, Fernández-López JA. Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. *Food Res Int*. 1995 Jan 1;28(4):373–7.

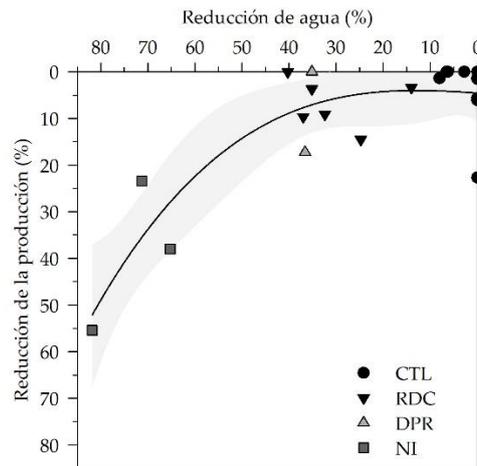


Figura 1. Relación entre las reducciones del riego y rendimiento durante el post-enero en vides cv. 'Crimson Seedless' bajo diferentes regímenes de riego y varias temporadas: CTL (110% ET_c); RDC: riego deficitario controlado y DPR: desecado parcial de la zona radicular al 50% del CTL; y NI: secano. La curva negra corresponde al modelo $y = 4,549 - 0,071x + 0,001x^2 + (8,384 \cdot 10^{-5})x^3$; $R^2 = 0,754$; y la zona gris al intervalo de confianza del 95%. Cada punto corresponde a la media del tratamiento para cada temporada y lugar de estudio, $n=22$.

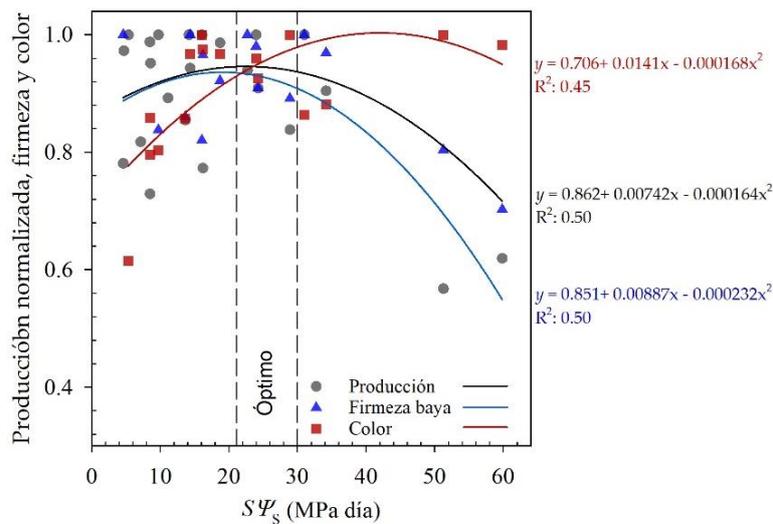


Figura 2. Relación entre la integral de estrés hídrico acumulado durante el post-enero ($S\Psi_s$) y el rendimiento (círculos grises, $n=22$), la firmeza (triángulos azules, $n=16$) y el color de las bayas (cuadrados rojos, $n=16$) normalizados con respecto a vides 'Crimson Seedless' sin estrés hídrico. Las líneas verticales discontinuas indican el rango de $S\Psi_s$ óptimo propuesto para la gestión del riego deficitario. Las líneas continuas corresponden a los modelos de regresión ajustados para las variables. Cada punto corresponde a la media de tres réplicas para cada temporada y lugar de estudio.

Mejora de los parámetros de calidad en frutos del género *Prunus* mediante atomización precosecha foliar de Ca, B y Si

Improvement of the quality parameters in fruits of the genus *Prunus* by means of foliar pre-harvest atomization of Ca, B and Si

F.J. Quirante-Moya^{1*}, M.C. Martínez-Ballesta², M. Carvajal-Alcaráz¹

¹Grupo Aguaporinas. Departamento de Nutrición Vegetal. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)-CSIC. Campus Universitario de Espinardo, 30100, Espinardo, Murcia, España.

²Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*quirantemoya@outlook.es

Resumen

Los frutos del género *Prunus* sufren un rápido deterioro de su calidad, provocando el acortamiento de su vida útil. En el transporte y comercialización de estos frutos, color y firmeza son parámetros cualitativos muy importantes. Se ha observado que algunos minerales como el Ca, B y Si están implicados en la estructura y función de la pared celular, que son vitales para mantener la firmeza. En este trabajo, se aplicaron diferentes aerosoles combinados (Ca, Ca+B, Ca+Si y un producto comercial llamado ANTISALGold+BREAK-Thru), se llevó a cabo en cuatro especies de *Prunus*, con la intención de comprobar si se produce una mejora en el mantenimiento de la firmeza y diferencias en el color medido durante el periodo post cosecha y en su vida útil. En general, los frutos del cultivo tratado con Ca+Si mostraron una menor pérdida de firmeza y un tono más asociado a madurez en este periodo.

Palabras clave: firmeza; nutrición vegetal; color; tono; vida útil.

Abstract

The fruits of the genus *Prunus* suffer a rapid deterioration of their quality, causing the shortening of their useful life. In the transport and marketing of these fruits, colour, and firmness are very important qualitative parameters. It has been observed that some minerals such as Ca, B, and Si are involved in the structure and function of the cell wall, which are vital for maintaining firmness. In this work, different combined sprays were applied (Ca, Ca + B, Ca+Si, and a commercial product called ANTISALGold+BREAK-Thru), it was carried out in four species of *Prunus*, with the intention of checking if there is an improvement in the maintenance of firmness and differences in the colour measured during the post-harvest period and in its useful life. In general, the fruits of the crop treated with Ca+Si showed a lower loss of firmness and a tone more associated with maturity in this period.

Keywords: firmness; plant nutrition; color; tone; shelf-life.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Prunus* es, agronómicamente, uno de los géneros más importantes y en él podemos encontrar frutales de hueso como: almendras (*Prunus dulcis*), albaricoques (*Prunus armeniaca*), cerezas (*Prunus avium* L.), nectarinas y melocotones (*Prunus persica* L.), paraguayo (*Prunus persica* L. var. *platycarpa*) y ciruelas (*Prunus domestica*). En la maduración, estos frutos

sufren un rápido deterioro de sus propiedades físicas, bioquímicas, fisiológicas y organolépticas. Dos de los parámetros de calidad que se consideran entre los principales atributos de calidad y encuentran afectados por este proceso son la firmeza y el color (1,2).

Los aerosoles foliares, además de ser más respetuosos con el medio ambiente que los fertilizantes naturales, se han utilizado para conseguir una mejor absorción de nutrientes con poca disponibilidad en el suelo (3). Entre estos minerales se encuentra el Ca, el cual tiene una importancia vital en la estructura de las paredes y las membranas celulares, influyendo de manera positiva en la firmeza de los frutos de *Prunus* (4,5). Por otra parte, tanto B como Si juegan un rol muy importante en la formación de puentes intercatenarios en las paredes y membranas celulares (6,7). El principal objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de diferentes tratamientos minerales combinados de Ca, B y Si, (Ca, Ca+B, Ca+Si y Ag+Bt) sobre la pérdida de firmeza y la tonalidad ($^{\circ}$ hue) presentado por los frutos en su fase final de la vida útil.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los tratamientos fueron aplicados 3 veces en periodo de fructificación sobre los seis árboles centrales de la segunda fila. La cosecha fue en el momento comercial, se recolectaron un total de 24 frutos por bloque distribuidos en 3 réplicas técnicas equitativamente. Tras la recolección los frutos permanecieron en conservación en cámara a 1°C y posteriormente a 20°C otro periodo de tiempo. Las cerezas permanecieron 14 días en cámara y 5 días a 20°C, los albaricoques 21 días en cámara y 5 días a 20°C, mientras que tanto paraguayos como nectarina permanecieron 21 días a 1°C.

2.1 Pérdida de firmeza

En cereza se midió la fuerza necesaria para causar una deformación de 5 mm en la superficie del fruto, mientras que para el resto de los frutos se midió la fuerza necesaria para penetrar 8 mm en el fruto.

2.2 Tonalidad

Los valores de color se tomaron tras haber salido de cámara y haber permanecido a 20°C. Para ello se utilizó un se midió los parámetros a y b para hallar la tonalidad mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{hue} = \text{Arctang}(b/a) * 180/\pi \quad (1)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Pérdida de firmeza

La pérdida de firmeza varió en función del tratamiento y las características específicas de cada fruto. Las cerezas del control presentaron una pérdida de firmeza ligeramente inferior al 20% con respecto a la medida en la salida de cámara a los 14 días (Fig. 1A). A excepción del tratamiento compuesto por Ca+Si, la influencia de los tratamientos sobre la pérdida de firmeza de los albaricoques (Fig. 1B) fue similar, salvo en el tratamiento compuesto por Ca+Si cuyos frutos experimentaron una menor pérdida de firmeza que los del control. En paraguayos, (Fig. 1C) los frutos del control fueron los que menor pérdida de firmeza presentaron, mientras que las muestras procedentes del cultivo tratado con AG+Bt sufrieron la mayor pérdida de firmeza. En nectarina (Fig. 1D), a excepción del tratamiento compuesto por Ca, todos lograron mitigar la caída en la firmeza, observada en los frutos del control, especialmente el tratamiento compuesto por AG+Bt.

3.2 Tonalidad

Las cerezas procedentes de los cultivos tratados con AG+Bt y con Ca+B mostraron un aumento en el tono. En albaricoque las muestras que presentaron una tonalidad más roja fueron las procedentes del cultivo tratado con Ca+Si. Las muestras procedentes del cultivo tratado con

AG+Bt presentaron un color más verdoso. En paraguayo todas las muestras presentaron un tono más cercano al rojo que los del control, especialmente las procedentes del cultivo tratado con Ca+Si. Por último, en nectarina se observó que únicamente el cultivo tratado con Ca+B, presentaron una apariencia de mayor madurez. Estos resultados se hallan en concordancia con estudios anteriores, donde la aplicación precosecha de aerosoles compuestos por Ca, únicamente, o en combinación con otros minerales, obtuvieron una mejora en los parámetros fisiológicos de calidad de los frutos y mantenimiento de estos durante el almacenamiento (8-10).

4. CONCLUSIONES

La aplicación de aerosoles de Ca combinado con Si y también con AG+Bt favorece una menor pérdida de firmeza. Los frutos obtenidos de los cultivos tratados con Ca+Si y Ca+B presentaron un color más atractivo visualmente. En albaricoque la aplicación de AG+Bt favorece una menor madurez del fruto tras estar 21 días a 1°C y 5 días a 20°C.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa Fénix fresh su implicación en el proyecto y envío de frutos para su análisis.

6. REFERENCIAS

1. Valero C, Crisosto CH, Slaughter D. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. *Postharvest Biol Technol.* 2007;44(3):248-53.
2. García-Gómez BE, Salazar JA, Nicolás-Almansa M, Razi M, Rubio M, Ruiz D, et al. Molecular bases of fruit quality in prunus species: An integrated genomic, transcriptomic, and metabolic review with a breeding perspective. *Int J Mol Sci.* 2021;22(1):1-38.
3. Niu J, Liu C, Huang M, Liu K, Yan D. Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives. *J Soil Sci Plant Nutr.* 2021;21(1):104-18.
4. Correia S, Queirós F, Ribeiro C, Vilela A, Aires A, Barros AI, et al. Effects of calcium and growth regulators on sweet cherry (*Prunus avium* L.) quality and sensory attributes at harvest. *Sci Hortic (Amsterdam).* 2019;248(November 2018):231-40.
5. Dong Y, Zhi H, Wang Y. Cooperative effects of pre-harvest calcium and gibberellic acid on tissue calcium content, quality attributes, and in relation to postharvest disorders of late-maturing sweet cherry. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2019;246(September 2018):123-8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.067>
6. Sheng H, Chen S. Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction. *Plant Physiol Biochem* [Internet]. 2020 Mar;155:13-9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.020>
7. Zdunek A, Pieczywek PM, Cybulska J. The primary, secondary, and structures of higher levels of pectin polysaccharides. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2021;20(1):1101-17.
8. Cui K, Shu C, Zhao H, Fan X, Cao J, Jiang W. Preharvest chitosan oligochitosan and salicylic acid treatments enhance phenol metabolism and maintain the postharvest quality of apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2020 Mar;267:109334. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109334>
9. Moradinezhad F, Dorostkar M. Pre-harvest Foliar Application of Calcium Chloride and Potassium Nitrate Influences Growth and Quality of Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Fruit cv. 'Shahroudi.' *J Soil Sci Plant Nutr.* 2021;21(2):1642-52.
10. Matteo M, Zoffoli JP, Ayala M. Calcium Sprays and Crop Load Reduction Increase Fruit Quality and Postharvest Storage in Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). *Agronomy.* 2022;12(4):829.

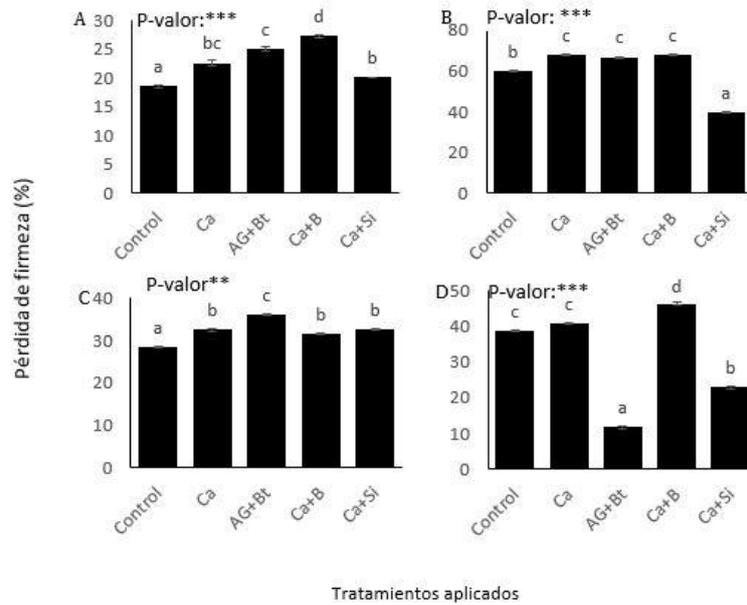


Figura 1. Pérdida de firmeza (%) de frutos de *Prunus* tras la aplicación de distintos aerosoles foliares. Especies: A) Cereza; B) Albaricoque; C) Paraguay D) Nectarina. Tratamientos: *Control*; *Ca*; *Antisal Gold+BEAK-Thru (AG+Bt)*, *Ca+B* y *Ca+Si*. Análisis estadístico ANOVA y Test de Duncan Post-Hoc ($\alpha=0,05$). Las diferentes letras minúsculas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$). Las medidas se realizaron tras 14 días a 1°C y 5 días a 20°C en cereza; 21 días a 1°C y 5 días a 20°C en albaricoque y 21 días a 1°C y 2 días a 20°C en nectarina y paraguay.

Tabla 1. Tono (°hue) de frutos de *Prunus* tras la aplicación de diferentes aerosoles foliares.

Fruto	Tratamientos					p-valor
	Control	Ca	AG+Bt	Ca+B	Ca+Si	
Cereza	17,46±0,04b	16,49±0,05a	16,55±0,04a	19,90±0,05c	20,49±0,06c	***
Albaricoque	51,85±0,17c	49,51±0,14b	64,66±0,20d	46,66±0,29b	40,04±0,02a	***
Paraguay	74,48±0,33e	66,45±0,42d	52,60±0,23b	61,47±0,11c	47,46±0,06a	***
Nectarina	31,84±0,05b	49,85±0,22c	62,57±0,36d	25,73±0,01a	32,40±0,20b	***

Especies: A) Cereza; B) Albaricoque; C) Paraguay Tratamientos: *Control*; *Ca*; *Antisal Gold+BEAK-Thru (AG+Bt)*, *Ca+B* y *Ca+Si*. Análisis estadístico ANOVA y Test de Duncan Post-Hoc ($\alpha=0,05$). Las diferentes letras minúsculas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$). Las medidas se realizaron tras 14 días a 1°C y 5 días a 20°C en cereza; 21 días a 1°C y 5 días a 20°C en albaricoque y 21 días a 1°C y 2 días a 20°C en nectarina y paraguay.

Bioestimulación en pimiento bajo invernadero para una producción sostenible

Greenhouse-pepper biostimulation to achieve a sustainable production

S. Zapata-García^{1*}, P.J. Espinosa-Jiménez², P.J. Salvador-Albaladejo¹, A. Pérez-Pastor¹

¹Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España

²FMC Corporation, Madrid, España.

*susana.zapata@upct.es

Resumen

El uso de bioestimulantes en la agricultura se ha visto incrementado en la última década con el fin de promover la sostenibilidad de la producción agrícola, ya que incrementan la producción obtenida. El objetivo de este trabajo fue analizar de forma conjunta la respuesta agronómica, fisiológica y microbiológica de un cultivo de pimiento bajo invernadero, tras la aplicación de un bioestimulante compuesto por extractos de algas. Las plantas bioestimuladas mostraron un mayor número de frutos comerciales, junto a un índice de área foliar más elevado con respecto al control no bioestimulado. Asimismo, es de destacar la mayor colonización de sus raíces, debida a la acción de hongos micorrícicos endémicos del suelo, que dio lugar a una mayor respiración de suelo en este tratamiento

Palabras clave: extracto de algas; micorrización; respiración de suelo.

Abstract

Recent studies show that biostimulants can enhance crop yield and therefore their sustainability. That could be the reason why their use has increased among farmers. The aim of this work has been to analyze the agronomical, physiological, and microbiological responses of a pepper crop after biostimulation with seaweed extract. The biostimulated plants showed a higher number of commercial fruits, and an enhanced leaf area index than non-treated plants. The roots of the treated plants were colonized in greater proportion by endemic mycorrhizal fungi, and as a consequence, the soil respiration increased.

Keywords: seaweed extract, mycorrhization; soil respiration.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de bioestimulantes en base de algas se encuentra cada vez más extendido en la agricultura, debido a los incrementos que producen en producción y calidad del fruto (1). Los extractos de algas pueden afectar además a la calidad del suelo, por ejemplo, incrementando la capacidad de retener humedad en el suelo y favoreciendo el crecimiento de microorganismos beneficiosos (2), aunque estos resultados no han sido transferidos a la sociedad correctamente.

El objetivo de este trabajo fue analizar de forma conjunta la respuesta agronómica, fisiológica y microbiológica de un cultivo de pimiento bajo invernadero tras la aplicación del bioestimulante compuesto por extractos de algas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este ensayo se desarrolló en la Finca Experimental Tomás Ferro de la Universidad Politécnica de Cartagena (37°41'14.9"N 0°57'01.8"W) en pimiento (*Capsicum annuum*) tipo

California, cv. Mikel. El cultivo dispuesto con un marco de plantación de 0,4 m x 0,9 m se desarrolló bajo invernadero, entre los meses de enero y julio de 2021.

Los tratamientos ensayados fueron i) control no tratado, **CTL**, al que no se le realizó aplicación de bioestimulante, y ii) bioestimulado, **Rhizo**, al que desde trasplante hasta un mes antes de iniciar la cosecha se le realizaron 5 aplicaciones vía riego del bioestimulante comercial Seamac Rhizo® a una dosis de 2,5 L/ha. Ambos tratamientos siguieron el mismo programa de riego y fertilización.

Se trabajó con un diseño experimental completamente aleatorizado, con tres repeticiones por tratamiento, cada una de 8 plantas, con un total de 24 plantas por tratamiento.

Durante el ciclo de cultivo, en intervalos de 3 semanas, se realizaron las medidas de: i) fotosíntesis neta, mediante el sistema portable de Fotosíntesis LI-6800 (LI-COR Biosciences, EE. UU.), ii) emisión de CO₂, con el analizador multigases por espectroscopía acústica Gasera One Pulse (GASERA, Finlandia).

La producción se controló durante los 3 primeros cortes realizados las semanas 20, 21 y 22. Se cosecharon todos los frutos con una coloración roja uniforme (>95% color rojo) procedentes de 5 plantas por repetición (15 plantas por tratamiento). La producción se expresó como peso total, rendimiento y número de frutos por hectárea.

Tras la última cosecha, se cortaron todos los frutos cuajados de la planta, que también fueron pesados y contabilizados. Utilizando un analizador de área foliar LI-3100 C (LI-COR Biosciences, EE. UU.), se calculó el índice de área foliar (LAI) de 4 plantas por tratamiento. El valor LAI se expresa como la relación entre el área foliar y el marco de plantación ocupado por una planta.

Al finalizar el ciclo, se extrajeron raíces secundarias de las plantas estudiadas, con el fin de estudiar la colonización micorrícica en ellas, mediante tinción (3) y conteo en el microscopio (4).

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa Infostat (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina), realizando un análisis de varianza ANOVA, seguido de una prueba de Duncan con un nivel de significancia de 0,05.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La bioestimulación en el cultivo de pimiento bajo invernadero durante su ciclo de cultivo promovió un incremento significativo de la precocidad de las plantas tratadas frente a las del control, considerando los frutos recolectados después de los tres primeros cortes (Fig. 1), mejorando así la floración y cuaje, como ocurre en otros ensayos descritos en la bibliografía (2).

Los datos obtenidos en este trabajo sugieren un incremento significativo en los asimilados totales por la planta, ya que, aunque la tasa fotosintética se mantuvo en valores similares al control (Fig. 2), las plantas bioestimuladas mostraron una mayor área foliar, tanto a lo largo del ciclo de cultivo a través de las medidas de cobertura de suelo (datos no mostrados), como después de la cosecha a través del muestreo de biomasa (Fig. 3). Este hecho causaría un incremento en la actividad fotosintética total de la planta.

Como se ha observado previamente (5), las raíces de las plantas bioestimuladas fueron micorrizadas en mayor medida que las del control, no bioestimuladas (Fig. 5A), favoreciendo una mayor actividad microbológica del suelo. Este hecho incidió en una mayor tasa de emisión de CO₂ desde el suelo (6), concretamente un 34,68% superior respecto al control (Fig. 5B).

4. CONCLUSIONES

La bioestimulación es aún un campo parcialmente desconocido, son muchos y muy diversos los ensayos que buscan obtener diferentes perspectivas sobre su efecto en distintos cultivos. Los resultados obtenidos en este ensayo manifestaron un incremento significativo del área foliar,

además de permitirnos relacionar su aplicación con el fomento de la actividad microbiológica del suelo. Sin embargo, aún faltan estudios para comprobar a medio y largo plazo los efectos y mecanismos de los bioestimulantes sobre la planta y suelo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte de los trabajos realizados en el marco de la Cátedra Universitaria FMC-UPCT “Agricultural Sciences”.

6. REFERENCIAS

1. Rouphael Y, Colla G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:40.
2. Khan W, Rayirath UP, Subramanian S, Jithesh MN, Rayorath P, Hodges DM, et al. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *J Plant Growth Regul*. 2009 Dec;28(4):386–99.
3. Phillips JM, Hayman DS. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 1970 Aug;55(1):158-IN18.
4. Giovannetti M, Mosse B. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. *The New Phytologist*. 1980;84(3):489–500.
5. Kuwada K, Wamocho LS, Utamura M, Matsushita I, Ishii T. Effect of Red and Green Algal Extracts on Hyphal Growth of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and on Mycorrhizal Development and Growth of Papaya and Passionfruit. *Agronomy Journal*. 2006;98(5):1340–4.
6. Hanson PJ, Edwards NT, Garten CT, Andrews JA. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*. 2000 Jan;48(1):115–46.

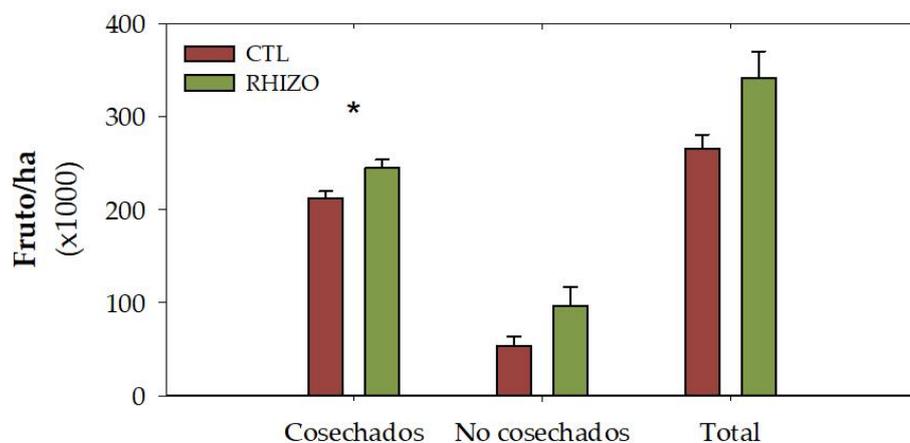


Figura 1. Número de frutos en miles por hectárea, las categorías muestran los frutos cosechados con carácter comercial, los que en el momento de la última cosecha no mostraron cualidades comerciales, y suma de ambas categorías. * indica significativo para ANOVA ($p < 0,05$).

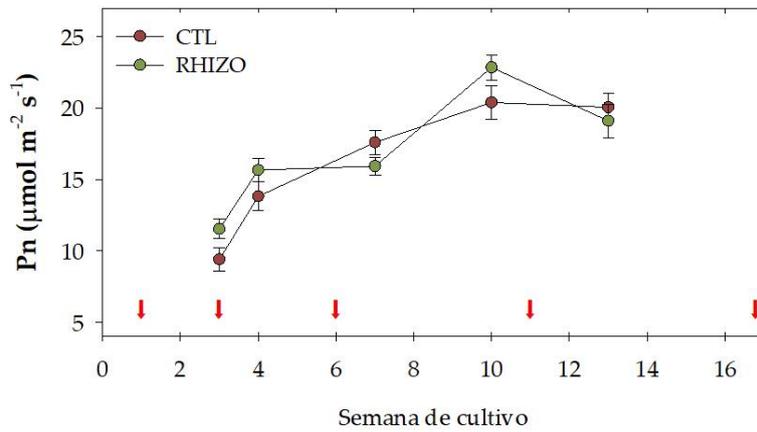


Figura 2. Evolución semanal de la fotosíntesis neta para los tratamientos CTL y Rhizo durante el ciclo de cultivo. Flechas rojas indican los momentos de aplicación del bioestimulante.

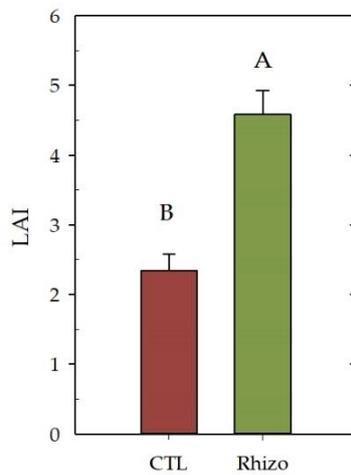


Figura 3. Índice de área foliar medio de una planta a final del ciclo de cultivo. Letras diferentes indican diferencias significativas para ANOVA ($p < 0,05$).

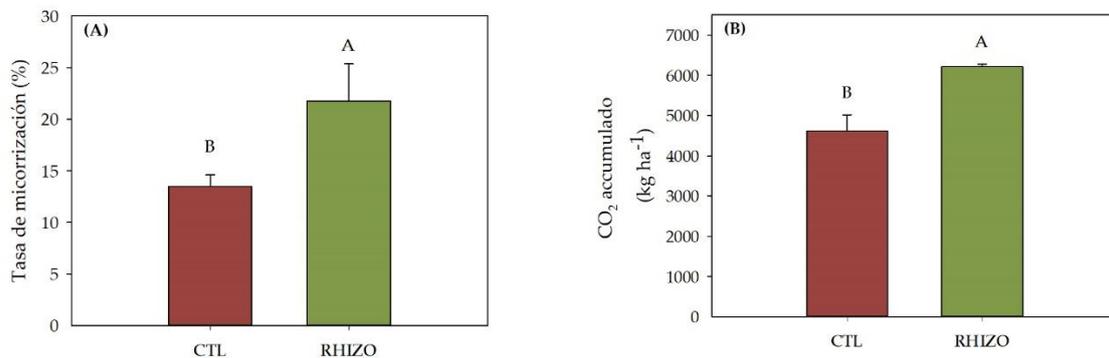


Figura 4. (A) Tasa de micorrización de las raíces de pimienta a final del ciclo de cultivo. (B) CO₂ acumulado durante el ciclo de cultivo hasta la semana de cultivo 19. Letras diferentes indican diferencias significativas para ANOVA ($p < 0,05$).

Adición de agentes biológicos solubilizadores de nutrientes, para reducir la incidencia de enfermedades/plagas transmitidas por el suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes en cultivos de hortalizas

Addition of nutrient solubilizing biological agents to reduce the incidence of diseases/pests transmitted by the soil and to increase the availability of nutrients for vegetable crops

I. Ollio*, S. Martínez, R. Zornoza, C. Egea, J.A. Fernández

Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*irene.ollio@upct.es

Resumen

La producción intensiva de cultivos hortícolas en el Campo de Cartagena se enfrenta con algunos desafíos relacionados con la continua necesidad de aplicar insumos externos para garantizar un buen rendimiento; esto puede representar una amenaza considerable para el medio ambiente al contaminar agua, aire y suelo. El objetivo de este trabajo fue reducir la fertilización combinando la aplicación de formulaciones a base de microorganismos (PGPR y AMF), durante dos cultivos consecutivos de patata y brócoli, con el fin de mejorar la rentabilidad y reducir la incidencia de enfermedades. En el cultivo de patata la reducción de la fertilización no afectó al rendimiento y calidad y se observó una reducción de enfermedades en los dos tratamientos con aplicación de las formulaciones de microorganismos. En el caso del brócoli, se observa entre los tratamientos diferencias en el peso de la pella, en el diámetro del tallo y en el rendimiento.

Palabras clave: patata; brócoli; fertilización; microorganismos, enfermedades de los cultivos.

Abstract

The intensive production of horticultural crops in Campo de Cartagena area faces some challenges related to the continuous need to apply external inputs to guarantee a good yield. This situation can pose a considerable threat to the surrounding environment by contaminating water, air, and soil. The objective of this work was to reduce fertilization and to apply formulations based on microorganisms (PGPR y AMF) during two consecutive crop cycles of potato and broccoli in order to improve profitability and decrease diseases. In the potato crop, the reduction in fertilization did not affect the yield and quality along with a reduction in diseases was observed in both treatments with the application of the microorganism formulations. In the case of broccoli, significant differences are observed in the weight, diameter of the stem and in the yield between the treatments.

Keywords: potato; broccoli; fertilization; microorganisms; crop diseases.

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de altos insumos, los principales desafíos para la producción sostenible incluyen la dependencia de plaguicidas y el elevado uso de fertilizantes y riego para aumentar la eficiencia, pudiendo representar una amenaza considerable para el medio ambiente al contaminar

el agua, el aire y el suelo (1). Además, estos sistemas pueden conducir a un empobrecimiento del suelo y una mayor susceptibilidad de las plantas a diversas enfermedades (2). La inoculación conjunta de cepas de hongos micorrícicos arbusculares (AMF) y las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) o el uso de formulaciones comerciales que contienen múltiples cepas de estos microorganismos, pueden mitigar los problemas del uso masivo de fertilizantes químicos (3). Cuando se aplica en combinación con las dosis adecuadas de fertilizantes minerales, las mezclas de PGPR y AMF conducen a la mejora de la calidad del cultivo y la mejora de la fertilidad del suelo y el entorno microbiano (4). Asimismo, la estimulación indirecta del crecimiento de las plantas que pueden proporcionar ciertos microorganismos está relacionada con su protección contra los efectos de los fitopatógenos (5). El objetivo del presente estudio fue determinar si la reducción de fertilizantes NPK asociado a la aplicación de formulaciones de microorganismos puede afectar al rendimiento y calidad de un cultivo de patata y de brócoli, respecto a la aplicación de la tasa completa de fertilización convencional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Dos ciclos de cultivos, primero patata (*Solanum tuberosum* L. cv. Spunta) y posteriormente brócoli (*Brassica oleracea* L. cv. Parthenon) se plantaron respectivamente el 22 de diciembre de 2020 y 5 de octubre 2022, en una parcela de la Estación Experimental Agroalimentaria Tomás Ferro - UPCT ubicada en Cartagena, Región de Murcia. El sistema de cultivo se manejó de forma convencional, de acuerdo con los protocolos de cultivo estándar de la zona del Campo de Cartagena. El experimento se realizó en un diseño aleatorio que constaba de cuatro tratamientos distintos divididos en cuatro repeticiones; de los cuales había un tratamiento con una fertilización de cobertera estándar -Control 100%- (100 kg ha⁻¹ de N, 43,75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 200 kg ha⁻¹ de K₂O en caso de la patata y en brócoli 158 kg ha⁻¹ de N, 68 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 255 kg ha⁻¹ de K₂O) mientras los otros tratamientos costaban de una reducción de un 30% de dichas dosis en el caso del cultivo de patata y de un 50% en el cultivo de brócoli (Control 70% y Control 50%, respectivamente). Entre los tratamientos con reducción de la fertilización están incluidos: un tratamiento con aplicación de un producto comercial, Bactoneco (Fyneco), que consiste en una formulación de bacteria solubilizadoras de nitrógeno, fósforo y potasio, y un tratamiento con aplicación de un producto comercial, Nuve (Fyneco), que se basa en una mezcla de bacteria y hongos micorrícicos. La recolección de la patata se realizó desde el 31 de mayo hasta el 4 de junio 2021 (160-164 días después de la plantación) y del brócoli entre 5 y el 10 de enero 2021 (92-97 días después la plantación).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de la patata varió entre 5,2 kg m⁻² y 5,7 kg m⁻² entre los cuatro tratamientos, indicando que la reducción de la fertilización no ha afectado a la producción. Nuestros resultados coinciden con los de Ferreira *et al.* (6) que obtuvo un mayor rendimiento de patata con menos agua y nitrógeno de lo recomendado. El volumen de los tubérculos osciló entre 119 y 184 cm³, siendo significativamente mayor ($p < 0,05$) el Control 70% respecto a Bactoneco. En la firmeza de los tubérculos se observa un valor estadísticamente menor ($p < 0,05$) en el Control 100% (8,05 kg cm⁻²) respecto al Control 70% (8,65 de kg cm⁻²). No hubo diferencia en el contenido de almidón entre los tratamientos (Tabla 1). Los principales daños identificados en los tubérculos fueron la presencia atribuible a *Rhizoctonia* spp. mostrando, aunque de forma bastante leve, la presencia de corpúsculos negros (esclerocios) sobre la superficie del tubérculo y la presencia de pequeñas galerías en los tubérculos por la incidencia del gusano del alambre (*Agriotes lineatus*). La incidencia de *Rhizoctonia* fue del 2,5% en el tratamiento Nuve, 17,5% en Batoneco, 32% en Control 70%, y 15% en el Control 100%; la incidencia de gusano de alambre fue del 5% en Nuve, 12,5% en Bactoneco, 35% en el Control 70% y un 37,5% en el control 100%. Por lo general, el tratamiento menos afectado por daños a los tubérculos fue el tratamiento Nuve, en consonancia con los resultados de Larkin (7), que demostró que los hongos micorrícicos arbusculares bajo

ciertas condiciones pueden proteger la patata de algunas enfermedades incluso aumentar el rendimiento.

En el cultivo de brócoli, el tratamiento Control 100% alcanzó a un rendimiento de 1,50 kg m⁻² seguido por el Control 50% con 1,46 kg m⁻², Nuve con 1,42 kg m⁻² y finalmente “Bactoneco” con 1,39 kg m⁻². En peso de la pella se aprecia una diferencia significativa de $p < 0,01$ de los tratamientos Nuve y Bactoneco con el Control 100% que resulta este último ser mayor y una diferencia significativa de $p < 0,05$ entre Nuve y Bactoneco donde se observa un peso menor respecto al tratamiento Control 50. Varios autores están de acuerdo que aumentando la dosis de aplicaciones de nitrógeno, incluso hasta 300 kg N ha⁻¹, aumenta el rendimiento (8-10). El rendimiento de pellas de calidad comercializable es bueno ya con aplicación tasas de N > 112 kg ha⁻¹ (11). Tanwar, et al. (12) en un experimento con inoculación de AMF han demostrado que ha habido una colonización insignificante de las raíces del brócoli por hongos micorrízicos, lo que demuestra que no tienen ningún papel en el crecimiento de esta planta. Sin embargo, la absorción de nutrientes y el rendimiento del brócoli aumenta cuando se combina con la dosis recomendada de fertilizante y disminuye combinado con la mitad o el doble de la dosis de fertilizante.

4. CONCLUSIONES

Los parámetros agronómicos de la patata entre los tratamientos se vieron afectados por el volumen y la firmeza de los tubérculos. Mientras por lo que pertenece a la firmeza el Control 100% resulta tener el valor menor, en el caso del volumen en Bactoneco se observa tubérculos más pequeños. En brócoli se observan diferencias significativas en el peso, en el diámetro del tallo y en el rendimiento, que demuestra como una reducción del 50% de fertilización afecta los parámetros de calidad en brócoli. En la valoración global de las plagas y enfermedades en patata los tratamientos con aplicaciones de las formulaciones de microorganismos se vieron afectados en un porcentaje menor.

5. AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este trabajo son parte del proyecto SoildiverAgro que se financia a través del Programa Horizon 2020 de la Unión Europea para la investigación y la innovación. Grant agreement No 817819.

6. REFERENCIAS

1. Rahman KMA, Zhang D. Effects of Fertilizer Broadcasting on the Excessive Use of Inorganic Fertilizers and Environmental Sustainability. *Sustainability*. 2018;10(3):759.
2. Aktar W, Sengupta D, Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdiscip Toxicol*. 2009;2(1):1-12.
3. Adesemoye AO, Kloepper JW. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2009;85(1):1-12.
4. Ye L, Zhao X, Bao E, Li J, Zou Z, Cao K. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. *Sci Rep*. 2020;10(1):177.
5. Grobelak A, Napora A, Kacprzak M. Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecol Eng*. 2015;84:22-8.
6. Ferreira TC, Gonçalves DA. Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate. *Agric Water Manag*. 2007;90(1):45-55.
7. Larkin RP. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and soilborne diseases of potato. *Soil Biol Biochem*. 2008;40(6):1341-51.
8. Everaarts AP, Willigen PD. The effect of the rate and method of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization by broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Neth J Agric Sci*. 1999;201-14.
9. Feller C, Fink M. Growth and Yield of Broccoli as Affected by the Nitrogen Content of Transplants and the Timing of Nitrogen Fertilization. *HortScience*. 2005;40(5):1320-3.

10. Yoldas F, Ceylan S, Yagmur B, Mordogan N. Effects of Nitrogen Fertilizer on Yield Quality and Nutrient Content in Broccoli. *J Plant Nutr.* 2008;31(7):1333-43.
11. Kahn BA, Shilling PG, Brusewitz GH, McNew RW. Force to Shear the Stalk, Stalk Diameter, and Yield of Broccoli in Response to Nitrogen Fertilization and Within-row Spacing. *J Am Soc Hortic Sci.* 1991;116(2):222-7.
12. Tanwar A, Aggarwal A, Parkash V. Effect of bioinoculants and superphosphate fertilizer on the growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck). *N Z J Crop Hortic Sci.* 2014;42(4):288-302.

Tabla 1. Parámetros de rendimiento y calidad de la patata.

Parámetros	Tratamiento			
	<u>NUVE</u>	<u>BACTONECO</u>	<u>CONTROL 70%</u>	<u>CONTROL 100%</u>
Contenido de almidón (%)	23±4,8	24±2,5	25±1,0	23±6,1
Volumen (cm ³)	176±56 ^{ab}	119±15 ^b	184±22 ^a	161±27 ^{ab}
Firmeza (kg cm ⁻²)	8,26±0,01 ^{ab}	8,26±0,27 ^{ab}	8,65±0,35 ^a	8,05±0,09 ^b
ρ (densidad) (mg cm ⁻³)	1,09±0,08	1,15±0,07	1,12±0,04	1,14±0,05
Rendimiento (kg m ⁻²)	5,57±0,67	5,21±0,42	5,69±0,27	5,39±0,60

Los datos, analizados con un ANOVA bifactorial, son representados como promedio±SD. Diferentes letras en superíndice son estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

Tabla 2. Parámetros de rendimiento y calidad de brócoli.

Parámetros	Tratamiento			
	<u>NUVE</u>	<u>BACTONECO</u>	<u>CONTROL 50%</u>	<u>CONTROL 100%</u>
Peso Pella (g)	314,39±83,7 ^{ab}	307,9±85,9 ^a	322,14±78,9 ^{bc}	330,46±79,7 ^c
Circunferencia Pella (cm)	41,32±4,32	41,10±5,06	42,59±4,25	40,86±4,73
Diametro Tallo (cm)	3,63±0,41 ^a	3,82±0,44 ^b	3,65±0,39 ^a	3,81±0,41 ^b
Rendimiento (kg m ⁻²)	1,42±0,01 ^b	1,39±0,01 ^a	1,46±0,03 ^c	1,50±0,01 ^d

Los datos, analizados con un ANOVA bifactorial, son representados como promedio±SD. Diferentes letras en superíndice son estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

Implicación del metabolismo de la sacarosa en las respuestas diferenciales de crecimiento y productividad mediadas por el portainjerto en plantas de pimiento sometidas a estrés salino

The implication of sucrose metabolism in the rootstock-mediated contrasting growth and yield responses of pepper plants subjected to salinity stress

A. Gálvez*, A. Albacete, F.M del Amor, J. López-Marín

Departamento de Producción Vegetal y Agrotecnología. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). C/ Mayor, s/n, 30150, La Alberca, Murcia, España.

*1297@coitarm.es

Resumen

La tecnología del injerto modifica el balance reproductivo de plantas, que está controlado por el flujo de fotoasimilados hacia los frutos. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del injerto sobre la tasa de hidrólisis de sacarosa en frutos de plantas de pimiento sometidas a estrés salino. En condiciones salinas, las concentraciones de glucosa y fructosa disminuyeron significativamente en plantas injertadas sobre Terrano, que indica una mayor utilización en los órganos sumidero por su alta tasa reproductiva. Sin embargo, en plantas injertadas sobre Atlante, con una menor tasa reproductiva, se produjo una acumulación de sacarosa en condiciones salinas, que podría ser debida a una ralentización de su actividad sacarolítica. Por tanto, existen respuestas diferenciales en el metabolismo de la sacarosa de frutos de plantas de pimiento sometidas a estrés salino, que podrían explicar las diferencias de desarrollo asociadas al tipo de portainjerto utilizado.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L.; salinidad; injerto; metabolismo de la sacarosa.

Abstract

Grafting technology modifies the reproductive balance of plants, which is controlled by the flow of photoassimilates to the fruits. The objective of this work was to study the effect of grafting on the rate of sucrose hydrolysis in fruits of pepper plants subjected to salt stress. Under saline conditions, glucose and fructose concentrations decreased significantly in plants grafted on Terrano, which indicates a higher utilization in the sink organs due to its high reproductive rate. However, in plants grafted onto Atlante, with a lower reproductive rate, there was an accumulation of sucrose in saline conditions, which could be due to a slowdown in its saccharolytic activity. Therefore, there are differential responses in the metabolism of sucrose in the fruits of pepper plants subjected to salt stress, which could explain the differences in development associated with the type of rootstock used.

Keywords: *Capsicum annuum* L.; salinity; grafting; sucrose metabolism.

1. INTRODUCCIÓN

Las hojas son los principales órganos fotosintéticos de las plantas y, por lo tanto, la fuente de suministro de fotoasimilados a los órganos sumidero, como las raíces y los frutos, mediante el transporte de sacarosa a través del floema. La salinidad es uno de los principales factores abióticos

que contribuyen a la disminución del rendimiento de los cultivos, por la inducción de la senescencia prematura en los tejidos fotosintéticos fuente, y la reducción del transporte y el uso de los fotoasimilados en los órganos sumidero, afectando a su crecimiento y desarrollo (1). La hidrólisis de sacarosa hacia glucosa y fructosa y su balance en los órganos sumidero juega un papel fundamental en la regulación de las relaciones fuente-sumidero en condiciones de estrés, ya que determina la capacidad de importar fotoasimilados para mantener el aporte de energía (2).

Una de las tecnologías que más se está extendiendo para hacer frente al estrés, tanto biótico como abiótico, en cultivos hortícolas es el injerto (3). De hecho, la modulación del crecimiento vegetativo y reproductivo mediante el uso de portainjertos ha demostrado ser una estrategia adecuada para hacer frente al estrés hídrico y salino en pimiento (4,5). Por tanto, el objetivo de este trabajo ha sido el estudio del balance de sacarosa y hexosas en frutos de plantas de pimiento que influye en las respuestas diferenciales de desarrollo en condiciones de estrés salino mediadas por el portainjerto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal y condiciones del cultivo

Se evaluaron plantas de pimiento de la variedad comercial 'Gacela' 'F1' sin injertar o (Syngenta Seeds, USA) injertadas sobre tres portainjertos comerciales: 'Atlante' (Ramiro Arnedo, España), 'Creonte' (De Ruiter-Monsanto Seeds-Bayer Crop Science, Alemania) y 'Terrano' (Syngenta Seeds, USA). Las plantas se cultivaron individualmente en macetas de 20 L y se distribuyeron en filas en un invernadero multitúnel con una separación de 40 cm entre plantas y 100 cm entre filas. El tratamiento de salinidad se inició 15 días después del trasplante, añadiendo NaCl a la solución nutritiva Hoagland estándar hasta llegar a una concentración final de 35 mM, mientras que las plantas control se regaron con la solución nutritiva original durante todo el ensayo.

2.2 Determinación de carbohidratos

La concentración de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) se determinó usando la metodología descrita por (6) con algunas modificaciones. La extracción de azúcares de las muestras de fruto se realizó mediante extracción en fase sólida, utilizando un tampón metabólico. Para el análisis se empleó cromatografía iónica utilizando un sistema 817 Bioscan (Metrohm, Herisau, Suiza) equipado con un detector amperométrico de pulso (PAD) y un electrodo de oro. La separación cromatográfica se realizó en una columna METROHM Metrosep Carb 1-150 IC (4,6 × 250 mm), termostaticada a 32°C.

2.3 Análisis estadístico

Los valores medios de las distintas combinaciones de injertos y del tratamiento salino se compararon utilizando el test Tukey con $p \leq 0,05$, utilizando el software SPSS para Windows (Versión 25.0, SPPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tanto en condiciones control como salinas, las concentraciones de las hexosas analizadas, glucosa y fructosa, fueron significativamente inferiores en los frutos de todas las combinaciones de injerto con respecto a las de plantas Gacela F1 no injertadas. (Figura 1A y B). Además, la salinidad provocó una reducción significativa de las concentraciones de fructosa en todas las combinaciones y en las plantas sin injertar, mientras que las concentraciones de glucosa sólo disminuyeron significativamente en los frutos de plantas injertadas sobre Terrano. La disminución generalizada de las concentraciones de fructosa por efecto del estrés salino podría explicar su papel en procesos globales de respuesta al estrés (7). Sin embargo, la reducción significativa de las concentraciones de hexosas en Terrano parece estar asociada a respuestas específicas de activación del metabolismo en procesos de mantenimiento del crecimiento de los

órganos sumidero en condiciones de estrés (8) y explicaría la alta tasa reproductiva de este portainjerto (5).

Con respecto a la sacarosa, en condiciones control, sus concentraciones fueron significativamente menores en los frutos de plantas injertadas sobre Atlante que las de los frutos de plantas no injertadas, mientras que en condiciones salinas no se observaron diferencias significativas por efecto del portainjerto (Figura 1C). Sin embargo, el portainjerto Atlante provocó un incremento significativo de las concentraciones de sacarosa en condiciones de estrés salino. Esta acumulación de sacarosa está relacionada con una disminución de su tasa de hidrólisis debido a una reducción en su utilización en los frutos sumidero por efecto de la salinidad (3). Esto explicaría la menor tasa reproductiva en las plantas injertadas sobre Atlante de entre todas las combinaciones estudiadas (5).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha visto que las respuestas diferenciales de crecimiento y productividad mediadas por uso de diferentes portainjertos comerciales en plantas de pimiento sometidas a estrés salino están asociadas a la regulación del balance sacarosa/hexosas en los frutos sumidero. Por tanto, la modulación del metabolismo de la sacarosa es clave en las estrategias de tolerancia frente al estrés salino en plantas hortícolas y podría ser utilizado en los programas de mejora genética de portainjertos.

5. REFERENCIAS

1. Albacete AA, Martínez-Andújar C, Pérez-Alfocea F. Hormonal and metabolic regulation of source-sink relations under salinity and drought: From plant survival to crop yield stability. Vol. 32, *Biotechnology Advances*. 2014. p. 12-30.
2. Poljakoff-Mayber A, Lerner H. Plants in saline environments. *Crop PM* (ed) H of P and, Stress, editors. New York; 1994. 65-96 p.
3. Albacete A, Martínez-Andújar C, Martínez-Pérez A, Thompson AJ, Dodd IC, Pérez-Alfocea F. Unravelling rootstock×scion interactions to improve food security. 2015.
4. López-Marín J, Gálvez A, del Amor FM, Albacete A, Fernández JA, Egea-Gilabert C, et al. Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. *Sci Hort* (Amsterdam). 2017;214:9-17.
5. Gálvez A, Albacete A, Martínez-Andújar C, Del Amor FM, López-Marín J. Contrasting rootstock-mediated growth and yield responses in salinized pepper plants (*Capsicum annuum* L.) are associated with changes in the hormonal balance. *Int J Mol Sci*. 2021 Apr 1;22(7).
6. Albacete A, Cantero-Navarro E, Großkinsky DK, Arias CL, Balibrea ME, Bru R, et al. Ectopic overexpression of the cell wall invertase gene CIN1 leads to dehydration avoidance in tomato. *J Exp Bot*. 2015;66(3).
7. Du ZK, Hu YF, Li JM. Overexpression of a gene AhFBA from arachis hypogaea confers salinity stress tolerance in escherichia coli and tobacco. *Biol Plant*. 2019;63.
8. Albacete A, Cantero-Navarro E, Balibrea ME, Großkinsky DK, De La Cruz González M, Martínez-Andújar C, et al. Hormonal and metabolic regulation of tomato fruit sink activity and yield under salinity. *J Exp Bot*. 2014;65(20):6081-95.

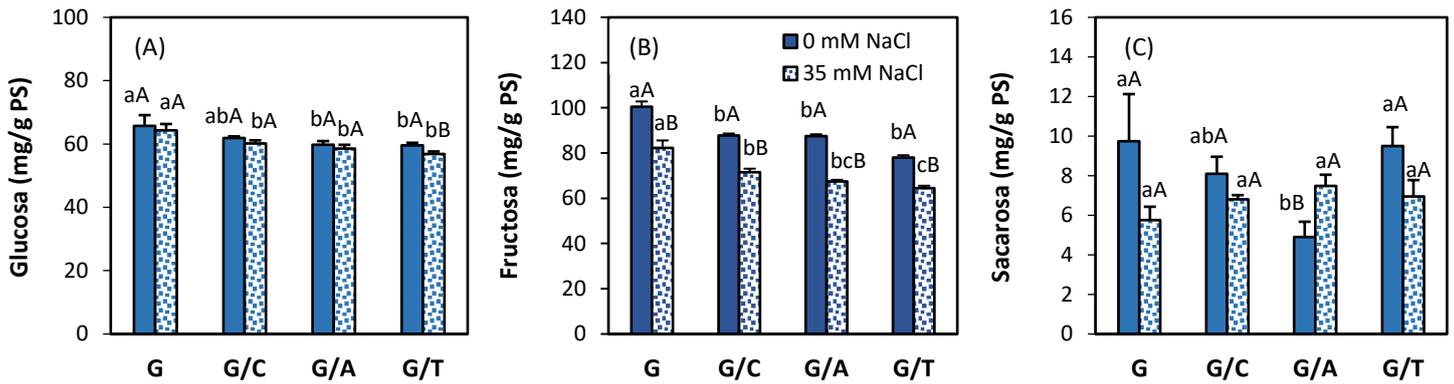


Figura 1. Concentraciones de (A) glucosa, (B) fructosa y (C) sacarosa en frutos de plantas de pimiento de la variedad comercial 'Gacela F1' no injertadas (G) o injertadas sobre tres portainjertos comerciales, Creonte (G/C), Atlante (G/A) y Terrano (G/T), y cultivadas en condiciones control (0 mM NaCl) y salinas (35 mM NaCl). Las barras muestran la media de 5 plantas \pm error estándar. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas debido al tratamiento salino, mientras que letras minúsculas diferentes muestran diferencias entre combinaciones de injerto de acuerdo con el test Tukey ($p \leq 0,05$).

SESIÓN ORAL II:
Biotecnología
Agroalimentaria y
Tecnología de
Alimentos

Prolongada monitorización y dinámica genética del virus del amarillo transmitido por pulgón de las cucurbitáceas y el virus del mosaico de la sandía en cultivos de melón y calabacín

Long-term monitoring and genetic dynamics of cucurbit aphid-borne yellows virus and watermelon mosaic virus in melon and zucchini crops

M.P. Rabadán*¹, M. Juárez², P. Gómez¹

¹Departamento de Biología del Estrés y Patología Vegetal. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)-CSIC. PO Box 164, 30100, Espinardo, Murcia, España.

²Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO). Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Universidad Miguel Hernández de Elche, 03312, Orihuela, Alicante, España.

*mprabadan@cebas.csic.es

Resumen

La emergencia y prevalencia de enfermedades virales en los cultivos requiere una vigilancia epidemiológica, y entender cómo los procesos ecológicos y evolutivos influyen en las dinámicas de las poblaciones virales. El objetivo fue monitorizar la presencia de seis virus transmitidos por pulgón en plantas sintomáticas de melón y calabacín en España durante 2011 y 2020. Observamos que el virus del amarilleo transmitido por pulgón en cucurbitáceas (CABYV) y el virus del mosaico de la sandía (WMV) son los virus mayoritarios en estos cultivos, incluyendo una alta proporción de infecciones mixtas. Además, se caracterizó molecularmente el genoma completo de 24 aislados de CABYV y 22 de WMV, observando que las poblaciones estaban estructuradas temporalmente, sin diferenciación entre su procedencia. Sin embargo, la variación temporal de CABYV fue en parte por el tipo de infección (simple o mixta), sugiriendo que las infecciones mixtas pueden tener un papel relevante en la epidemiología de las enfermedades causadas por CABYV.

Palabras clave: *Cucurbitaceae*; epidemiología molecular; variabilidad genética; infecciones mixtas.

Abstract

The emergence and prevalence of viral diseases in crops requires systematic epidemiological surveillance, in addition to understand how ecological and evolutionary process influence virus population dynamics. In this work, we monitored the presence of six aphid-borne viruses in symptomatic melon and zucchini plants in Spain from 2011 to 2020. We found that cucurbit aphid-borne yellows virus (CABYV) and watermelon mosaic virus (WMV) are the most common viruses affecting these crops, with a high proportion of mixed infections. We performed a molecular analysis the whole genome of 24 CABYV and 22 WMV isolates. We observed both populations were a fine-scale temporal structure, without distinction between their origins. However, CABYV temporal variation was partly explain by infection type (single or mixed), suggesting mixed infections may play a relevant role in the epidemiology of CABYV diseases.

Keywords: *Cucurbitaceae*; molecular epidemiology; genetic variability; mixed infections.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades causadas por virus de plantas tienen el potencial de originar epidemias con graves consecuencias para la producción agrícola. Los avances en las técnicas de secuenciación proporcionan una gran ayuda al estudio del viroma de cultivos, lo que está permitiendo, no solo identificar nuevos virus, sino que también revelar la co-detección de un rango de virus en la misma planta y cultivo como parte de un complejo de infecciones mixtas. Dada la elevada frecuencia con la que aparecen infecciones mixtas de virus, estas infecciones se están reconociendo como un factor biótico que puede influir en la evolución y ecología de estas enfermedades en el campo (1,2).

En el caso de enfermedades virales afectando a los cultivos de cucurbitáceas, el virus del amarilleo de las cucurbitáceas transmitido por pulgón (cucurbit aphid-borne yellows virus; CABYV), junto con el virus del mosaico de la sandía (watermelon mosaic virus; WMV) son conocidos por estar entre los virus con mayor prevalencia (3-6). Y es muy probable que haya una alta representación de infecciones mixtas entre estos dos virus, puesto que ambos son transmitidos por pulgón. En este sentido, las co-infecciones pueden estar favorecidas por diferentes factores. Por ejemplo, factores intrínsecos, como virus generalistas, la edad de la planta, o su estado nutricional, etc. Combinado con factores extrínsecos, como los modos de transmisión, los huéspedes alternativos, o las condiciones ambientales, pueden favorecer que diferentes virus coincidan espacio-temporalmente en una misma planta o cultivo. Es por ello por lo que la monitorización sistemática de las enfermedades víricas de las plantas es fundamental para conocer la epidemiología de sus poblaciones y comprender su dinámica evolutiva con el fin de facilitar el diseño de medidas de control eficaces y sostenibles.

Sin embargo, la falta de estudios epidemiológicos a largo plazo de las poblaciones víricas en estos cultivos deja sin conocer en profundidad las dinámicas eco-evolutivas de sus poblaciones. En el equipo de trabajo, se vienen realizando prospecciones sistemáticas de las principales enfermedades virales en los cultivos del sureste, recogiendo material vegetal de diferentes cultivos, localidades y campañas. En este trabajo se examina dicho material para conocer el estado sanitario de los cultivos de melón y calabacín en el sureste español, además de caracterizar genéticamente las poblaciones de CABYV y WMV en dichos cultivos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Colección de muestras y detección de virus. Se recogió un total de 1608 muestras durante 2011-2020 en zonas productoras de melón y calabacín de Murcia, Alicante y C. La-Mancha. El ARN total de las muestras fue extraído con Tri-Reagent y mediante hibridación molecular por dot-blot usando sondas específicas se detectaron CABYV, WMV, ZYMV, CMV y PRSV.

2.2 Amplificación del genoma y secuenciación. Para realizar la secuenciación mediante PacBio se realizaron dos PCRs. Primero se hizo una RT-PCR con primers específicos de CABYV y WMV, que además llevaban unida una secuencia target. A continuación, en una segunda PCR se unen los barcodes para la secuenciación, antes del introducir las muestras al secuenciador, se hace una ligación de dos secuencias circulares (CLR) en los extremos de las secuencias, que aseguran la lectura continua de nuestros aislados.

2.3 Estudio filogenético y caracterización genética de CABYV y WMV. Se secuenciaron 24 aislados de CABYV y 22 aislados de WMV. El análisis filogenético se realizó con MEGA X y los eventos de recombinación se detectaron con RDP4. La diversidad genética de las poblaciones de CABYV y WMV se hizo con el programa DNASP6. Para estudiar si en las poblaciones se estaba produciendo una diferenciación temporal, utilizamos el programa TempEST. Los análisis de haplotipos y los análisis de varianza molecular (AMOVA) se realizaron en Rstudio. Las secuencias se depositaron en GenBank.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se analizaron un total de 1608 muestras sintomáticas de melón y calabacín recogidas durante 10 temporadas (2011-2020). En general, CABYV fue el virus mayoritario (31%) tanto en melón como en calabacín, seguido de WMV (26%) (Fig. 1). Asimismo, observamos un alto número de infecciones mixtas, siendo mayoritaria la combinación de CABYV y WMV (10%), con una frecuencia desviada a lo esperada probabilísticamente. Esto sugería que las infecciones mixtas pueden tener un papel relevante en la epidemiología de ambas enfermedades.

Con la idea de profundizar en este aspecto, a continuación, se caracterizaron genéticamente las poblaciones de CABYV y WMV, agrupadas según el huésped, localización, campaña y tipo de infección (simple o mixta). Para esta caracterización se utilizó la tecnología de Pac-Bio, basada en la secuenciación a tiempo real de una sola molécula (SMRT) de ADN y cubriendo el genoma completo de cada aislado. Por un lado, el análisis filogenético mostró que los aislados de CABYV se agrupaban dentro del grupo Mediterráneo, excepto un aislado que estaba en el grupo de los recombinantes, y mostró un evento de recombinación en el ORF5. Por otro lado, los aislados de WMV se agrupaban principalmente en el grupo de emergentes, y dentro de estos observamos un aislado con un evento de recombinación en la P1. Además, también se observaron dos aislados clásicos.

El análisis de diferentes parámetros genéticos de las poblaciones de CABYV y WMV, no mostró ningún nivel de significancia para la diversidad nucleotídica, diferencia entre sustituciones sinónimas y no-sinónimas, flujo génico, D de Tajima, etc., dentro de las poblaciones. Sin embargo, el análisis de temporalidad filogenética mostró una señal temporal moderada de diferenciación dentro de cada población viral. Asimismo, el análisis de componentes principales discriminante (DAPC) corroboró dicha diferenciación temporal en los haplotipos dentro de las poblaciones. No obstante, mientras que la variación temporal en la población de WMV no dependía del tipo de infección según los análisis de varianza molecular (AMOVA), la variación encontrada en la población de CABYV fue significativamente dependiente del tiempo y el tipo de infección del que procedía cada aislado. Dicha variación atendiendo al tipo de infección fue confirmada con un análisis de componentes principales (PCA), donde observamos la separación entre las poblaciones de CABYV simple y mixta (Fig. 2).

4. CONCLUSIONES

CABYV y WMV están entre los virus más prevalentes en los cultivos de melón y calabacín del sureste español. La población de CABYV presenta una diferenciación temporal que puede ser explicada por el tipo de infección. La población de WMV muestra una diferenciación temporal. Las infecciones mixtas son relevantes y pueden influir en la epidemiología de las enfermedades virales.

5. AGRADECIMIENTOS

Ministerio de ciencia, innovación y universidades con beca de doctorado (PRE2018-083915). AGL2017-89550-R de la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y fondos FEDER (UE).

6. REFERENCIAS

1. Alcaide C, Rabadán MP, Moreno-Pérez MG, Gómez P. Implications of mixed viral infections on plant disease ecology and evolution. In: Kielian M, Mettenleiter TC, Roossinck MJ, editors. *Advances in Virus Research*. 2020. p. 145–69.
2. Moreno AB, López-Moya JJ. When viruses play team sports: Mixed infections in plants. *Phytopathology*. 2020;110(1):29–48.
3. Kassem MA, Sempere RN, Juárez M, Aranda MA, Truniger V. Cucurbit aphid-borne yellows virus is prevalent in field-grown cucurbit crops of southeastern Spain. *Plant Dis* [Internet]. 2007 Mar;91(3):232–8. Available from: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-91-3-0232>
4. Juárez M, Legua P, Mengual CM, Kassem MA, Sempere RN, Gómez P, et al. Relative incidence, spatial distribution and genetic diversity of cucurbit viruses in eastern Spain. *Ann Appl Biol*. 2013;162(3):362–70.

5. Rabadán MP, Juárez M, De Moya-Ruiz C, Gómez P. Aphid-borne viruses infecting cultivated watermelon and squash in Spain: characterization of a variant of cucurbit aphid-borne yellow virus (CABYV). *Plant Pathol J.* 2021;(January):1–10.
6. De Moya-Ruiz C, Rabadán P, Juárez M, Gómez P. Assessment of the current status of potyviruses in watermelon and pumpkin crops in Spain: Epidemiological impact of cultivated plants and mixed infections. *Plants.* 2021;10(1):1–14.

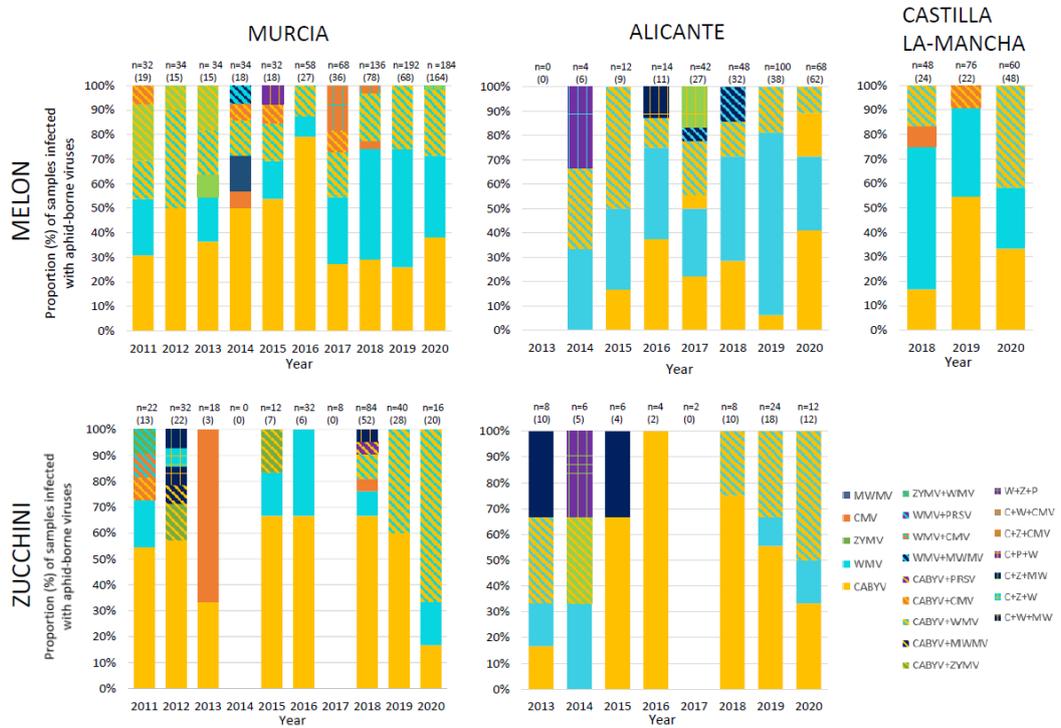


Figura 1. Virus transmitidos por pulgón (CABYV, WMV, ZYMV, CMV, MWMV, PRSV) detectados en melón y calabacín durante 2011-2020 en Murcia, Alicante y Castilla La-Mancha.

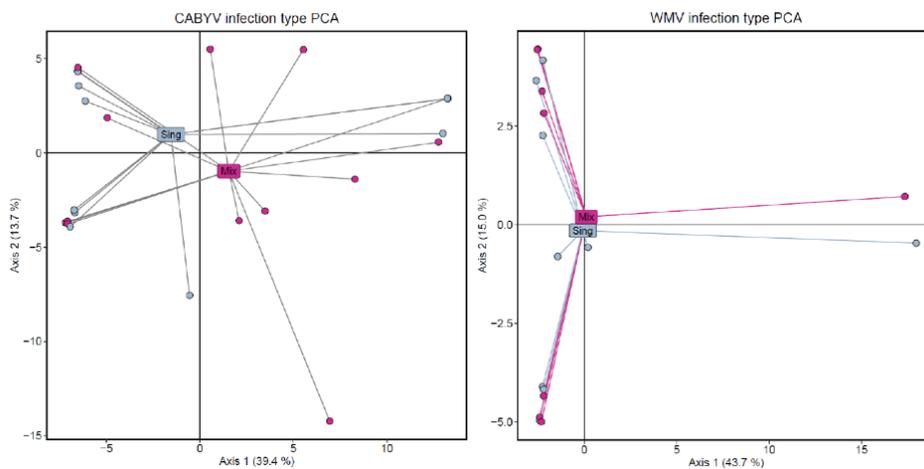


Figura 2. Análisis de componentes principales de las poblaciones de CABYV y WMV.

Determinación físico-química y de capacidad antioxidante en híbridos de poblaciones de vid con parentales tintoreros

Physico-chemical and antioxidant capacity determinations of hybrids from grape populations with teinturier parentals

P. Crespo^{1*}, M.I. Serrano², L. Martínez-Zamora³, F. Artés-Hernández³, M. Tornel¹

¹Equipo de Mejora de Uva de Mesa. Departamento Biotecnología, Genómica y Mejora Genética. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). C/ Mayor, s/n, 30150, La Alberca, Murcia, España.

²Investigación y Tecnología de Uva de Mesa. Paraje Lomas de Marín, s/n, 30540, Blanca, Murcia, España.

³Grupo de Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería Agronómica e Instituto de Biotecnología Vegetal. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*pablo.agro.cresp@gmail.com

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar muestras de uva de pulpa coloreada o sin color, y comparar los resultados de su capacidad antioxidante total y sus atributos de calidad. Las muestras corresponden a variedades tintoreras con pulpa roja y con semilla, y muestras de híbridos resultantes de poblaciones de variedades tintoreras y variedades de uva de mesa sin semilla. Con los resultados se distinguieron dos grupos en cuanto al porcentaje de captación de radicales libres, correlativo y superior para pulpas tintas. La textura aumentó hasta tres veces en híbridos respecto a parentales tintoreros. Del estudio de apirenia se obtuvo que el 36,4% de los híbridos fueron sin semilla. Los híbridos han sido capaces de mejorar los atributos de calidad del fruto, manteniendo o incrementando los compuestos bioactivos de interés. En conclusión, los híbridos P1008, PF1001 y PF1006 continúan en líneas de mejora gracias a estas determinaciones.

Palabras clave: *Vitis vinifera* L.; compuestos bioactivos; mejora vegetal.

Abstract

The objective was to evaluate colored and non-colored flesh berry grapes, and to compare results of total antioxidant capacity and grapes quality analysis. Samples belong to seeded teinturier varieties with colored berry flesh, and hybrids of populations from cross of teinturier varieties and seedless table grape varieties. According to the percentage of scavenging activity, two groups were distinguished; higher results were obtained for color pulp samples. Texture was increased up to 3-fold in hybrids regarding teinturier varieties. Seedless study showed that 36.4% hybrids were no seeded. Hybrids have increased the quality attributes and maintained or increased the bioactive compounds. In conclusion, hybrids PF1008, PF1001 and PF1006 continue in breeding programs regarding these determinations.

Keywords: *Vitis vinifera* L.; bioactive compounds; plant breeding.

1. INTRODUCCIÓN

Un elevado consumo de frutas y hortalizas está asociado con un bajo riesgo de todo tipo de causas de mortalidad (1). A pesar de ello, y debido a cambios hacia una vida más sedentaria y el consumo de comida menos saludable han causado una pandemia de obesidad en los países desarrollados (2). Por lo tanto, los alimentos, bebidas o suplementos nutracéuticos se presentan

como altamente efectivos para la prevención o auxiliares en el tratamientos contra enfermedades crónico-degenerativas (3). La uva, tanto nutricionalmente como por sus compuestos bioactivos identificados, se asocia con propiedades beneficiosas para la salud: antioxidantes, cardiovasculares, anticancerígenas, antidiabetes (4). Las uvas tintoreras, debido a su pulpa coloreada, contienen mayor cantidad de compuestos fitoquímicos (5). El objetivo del presente estudio fue evaluar muestras de uva con pulpa coloreada y muestras de uva con pulpa sin color para determinar el contenido en compuestos bioactivos y sus principales atributos de calidad para el consumo en fresco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal

El material vegetal muestreado objeto de este estudio fueron 3 variedades de uva de vinificación con pulpa tintorera: Alicante Bouschet (AB), Petit Bouschet (PB) y Morrastrel Bouschet (MB); así como 8 híbridos con pulpa coloreada (PF1001, PF1002, PF1003, PF1004, PF1005, PF1006, PF1007 y PF1008) y 3 híbridos con pulpa sin color (PF1009, PF1010 y PF1011). Estos 11 híbridos forman parte de poblaciones resultantes de cruces de las variedades tintoreras (AB, PB, MB) con variedades de uva de mesa (Itumone y Sugraone). Los muestreos tuvieron lugar en la 'Finca Cuatro Viento', una finca experimental de Investigación y Tecnología de Uva de Mesa (ITUM) en Blanca, Murcia, y fueron realizados en septiembre de 2020 (determinación de compuestos bioactivos) y en septiembre de 2021 (caracterización físico-química), en ambas ocasiones en estado óptimo de recolección.

2.2 Análisis físico-químico

Análisis químicos: se analizaron los sólidos solubles totales (SST) expresados como °Brix y la acidez expresada como ácido tartárico (mg L^{-1}). Análisis físicos: se obtuvo el peso unitario (g), el diámetro (mm) y la textura (N) de las bayas; así como el peso de las semillas de las muestras (mg).

2.3 Porcentaje de captación de radicales libres

Las muestras se pelaron y se descartaron las semillas de las pulpas, en frío y bajo condiciones de semi-oscuridad, se liofilizaron (Alpha 1-4 LSC, Martin Christ, Alemania) y se obtuvo el extracto (6) para proceder a las determinaciones. La capacidad antioxidante total (CAT) fue analizada por espectrofotometría siguiendo los métodos DPPH (7) y ABTS (8). La expresión de la CAT se ha efectuado a través del porcentaje de captación de radicales libres, que fue calculado según las siguientes fórmulas: $[(\text{Abs DPPH} - \text{Abs Muestra})/\text{Abs DPPH}] \times 100$; $[(\text{Abs ABTS} - \text{Abs Muestra})/\text{Abs ABTS}] \times 100$.

2.4 Análisis estadístico

Se ha efectuado un análisis de varianza (ANOVA) con el programa SPSS 25 (IBM, Armonk, Nueva York, EE.UU.) donde cada una de las muestras han sido el factor, y las variables han sido cada una de las determinaciones de compuestos bioactivos efectuadas, así como la textura. Las diferencias significativas ($p < 0,05$) se separaron en subconjuntos homogéneos por comparaciones múltiples 2 a 2 utilizando el método Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La textura de las muestras resultó entre el rango de valores de $3,3 \pm 0,4$ y $13,0 \pm 3,4$ N, que se corresponden con valores medio-blandos y blandos para las muestras de acuerdo a Tornel et al. (9). En cuanto al estudio de apirenia, el 28,6% de las muestras son sin semillas o cercanas a la apirenia, y el 71,4% de las muestras con semillas; esta clasificación es según Tornel et al. (9). Para el resto de los atributos de calidad del fruto se obtuvieron valores en los rangos de 16,1-22,4 mm

de diámetro de baya, 2,6-4,9 g de peso unitario de baya, 17,2-24,7 °Brix de SST y entre 2,4-4,6 mg L⁻¹ de acidez expresada como ácido tartárico.

La CAT en pulpa, expresada como porcentaje de captación de radicales libres, diferenció 2 grandes grupos: a) las muestras más antioxidantes, que corresponden a las variedades tintoreras e híbridos con pulpa coloreada, con valores destacados para DPPH de 54,2±8,0, 37,1±3,0 y 35,6±9,1% respectivamente para PF1008, AB y PF1005; b) las muestras menos antioxidantes, que corresponden a los híbridos con pulpas no coloreadas, con valores para DPPH de 15,3±1,9, 12,4±2,9 y 4,7±0,4% respectivamente para PF1009, PF1010 y PF1011. Los valores obtenidos por el método DPPH han mantenido la misma tendencia para los valores obtenidos por el método ABTS, y a su vez estos resultados son coherentes con los valores de porcentaje de captación de radicales libres en pulpa para Andjelkovic et al. (10) del 21,96-36,24% en uvas de vinificación y también con resultados mostrados por Khoshamad et al. (11) de 21,96±0,04 a 52,00±0,41% en pulpa para muestras de uvas salvajes.

4. CONCLUSIONES

Los híbridos con pulpa coloreada respecto a los de sin color, resultaron más ricos en compuestos bioactivos expresados como capacidad antioxidante. Los híbridos en estudio mejoran los atributos de calidad, en cuanto a textura y la presencia de semilla, respecto al parental tintorero. Se incluyen 3 híbridos del presente estudio para continuar programas de mejora: PF1008, PF1001 y PF1006.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y al IMIDA la contratación de Pablo Crespo Ródenas (Cod. 583701) para el proyecto “Mejora genética de especies agrícolas de interés para la Región de Murcia” y con código “Feder 1420-21 Uva”. También se agradece la implicación en esta investigación al Grupo de Postrecolección y Refrigeración de la ETSIA-UPCT.

6. REFERENCIAS

1. Wang X, Ouyang Y, Liu J, Zhu M, Zhao G, Bao W, et al. Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *BMJ*. 2014 Jul;349:1-14.
2. Popkin BM, Adair LS, Ng SW. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr Rev*. 2012;70(1):3-21.
3. Santana-Gálvez J, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez DA. A practical guide for designing effective nutraceutical combinations in the form of foods, beverages, and dietary supplements against chronic degenerative diseases. *Trends Food Sci Technol*. 2019;88:179-93.
4. Yadav M, Jain S, Bhardwaj A, Nagpal R, Puniya M, Tomar R, et al. Biological and medicinal properties of grapes and their bioactive constituents: An update. *J Med Food*. 2009;12(3):473-84.
5. FAO. Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. 2021.
6. Crespo P, Martínez-Zamora L, Artés-Hernández F, Tornel M. Towards grape vineyards rich in bioactive compounds. *Grapevine Physiology Biotechnol*. 2021.
7. Castillejo N, Martínez-Hernández GB, Monaco K, Gómez PA, Aguayo E, Artés F, et al. Preservation of bioactive compounds of a green vegetable smoothie using short time-high temperature mild thermal treatment. *Food Sci Technol Int*. 2017;23(1):46-60.
8. Rodríguez-Verástegui LL, Martínez-Hernández GB, Castillejo N, Gómez PA, Artés F, Artés-Hernández F. Bioactive Compounds and Enzymatic Activity of Red Vegetable Smoothies During Storage. *Food Bioprocess Technol*. 2016;9(1):137-46.
9. Tornel M, Carreño J. “Itumthirteen” & “Itumfourteen”: a bet on the Muscat grape flavor. 2015;(1):11-2.
10. Andjelkovic M, Radovanović B, Radovanović A, Andjelkovic AM. Changes in Polyphenolic Content and antioxidant activity of grapes cv vranac during ripening. *South African J Enol Vitic*. 2013;34(2):147-55.
11. Khoshamad R, Hassanpour H, Rahimi A. Evaluation of Phenolic Compounds, Antioxidant Activities and

Antioxidant Enzymes of Wild Grape Peel and Pulp. J Med Plants By-products. 2021;1:29–38.

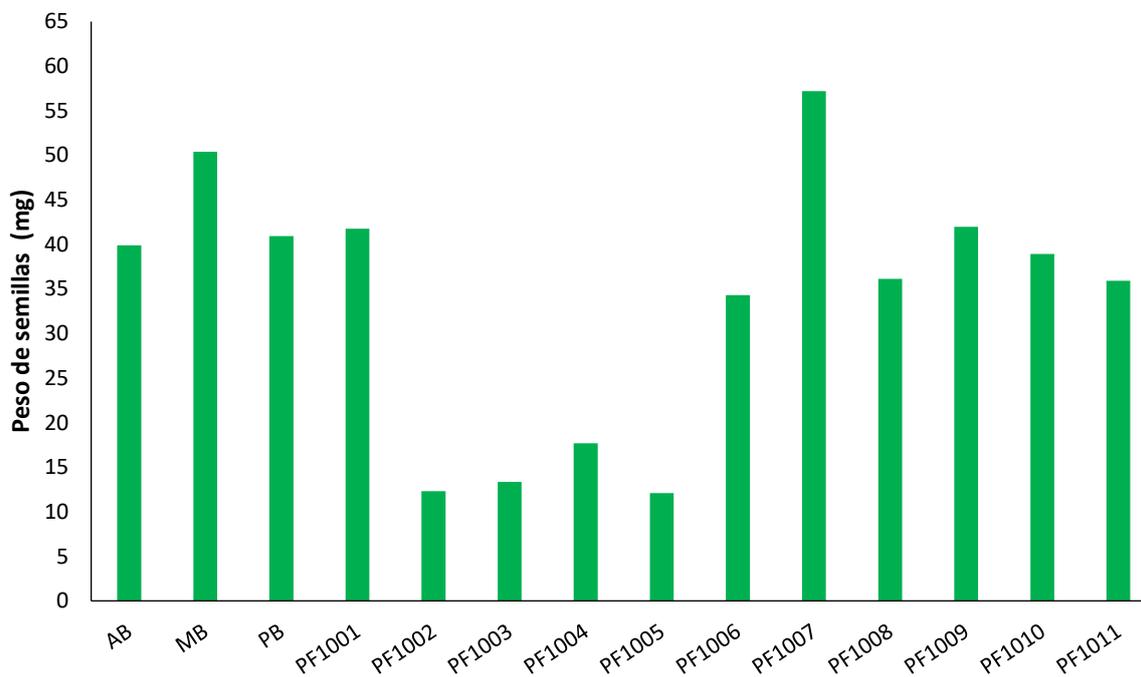


Figura 1. Estudio de apirenia mediante el peso de las semillas de las bayas.

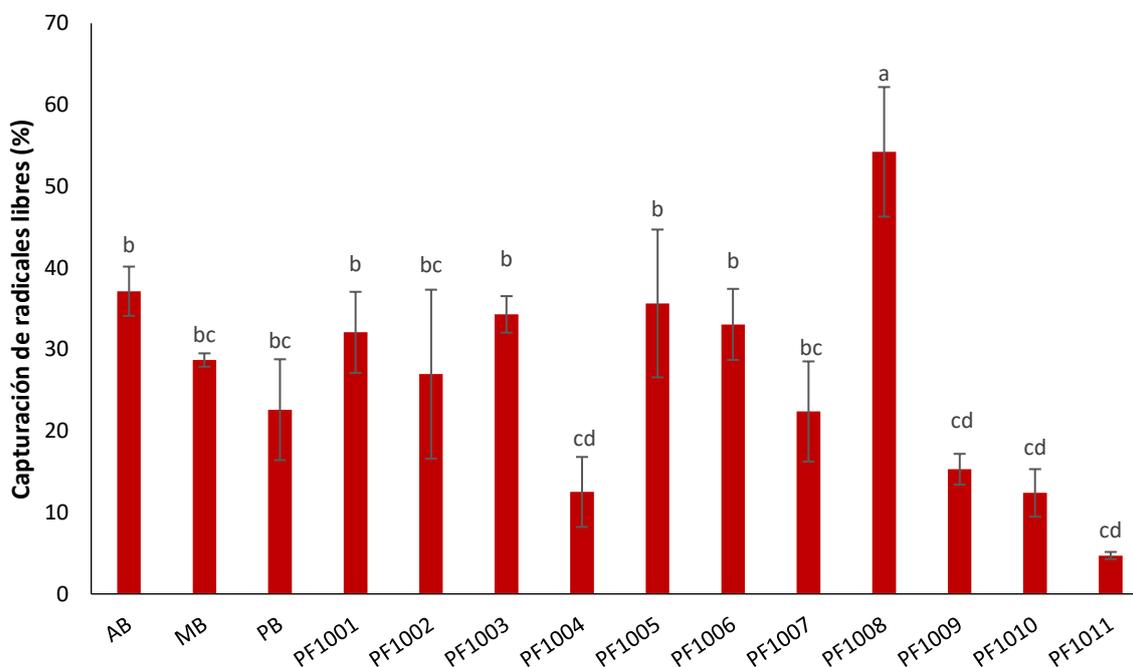


Figura 2. Capturación de radicales libres en pulpa mediante el método DPPH. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas entre muestras ($p < 0,05$).

Factores que afectan al crecimiento en cultivos de *N. benthamiana* en matraz

Factors affecting growth in flasks liquid cultures of *N. benthamiana*

F. Verdú-Navarro^{1,2*}, J. Weiss¹, J.A. Moreno-Cid², M. Egea-Cortines¹

¹Grupo de Genética y Biología Vegetal. Departamento Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

²Bionet S.L. Av. Azul, Parque Tecnológico Fuente Álamo, 30320, Fuente Álamo, Murcia, España.

*fuensanta.verdun@edu.upct.es

Resumen

A la hora de realizar cultivos in vitro vegetales, hay que tener en cuenta diversos factores que pueden afectar a su crecimiento, como pueden ser: medio de cultivo, temperatura, luz, etc. Estos factores afectarán de forma diferente a cada tipo de cultivo, especialmente a diferentes especies vegetales. En este ensayo, se ha caracterizado cómo afectan la luz, el tamaño del inóculo y la disgregación del inóculo al crecimiento de cultivos en matraces de *Nicotiana benthamiana*. El factor que más influye en el crecimiento de este tipo de cultivo es el tamaño del inóculo: se requiere un mínimo porcentaje de inóculo para que el crecimiento del cultivo sea significativo.

Palabras clave: densidad celular; luz; disgregación; cultivo en matraz; callos.

Abstract

In vegetal in vitro cultures, there are several factors to be considered that can affect growth, such as: culture medium, temperature, light, etc. These factors affect differently each type of culture, specially to different species. In this assay, we have studied how the light, the size of the inoculum and the inoculum disaggregation affect the growth of flasks cultures of *Nicotiana benthamiana*. The most influent factor is the inoculum size: it is necessary to have a minimum inoculum to achieve a significant growth.

Keywords: cell density; light; disaggregation; flasks culture; calli.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo in vitro de especies vegetales es una herramienta de mucha importancia dentro del ámbito tanto de la investigación como de la industria y producción. Por ello se lleva realizando desde hace décadas y hay muchos estudios para su optimización para cada especie vegetal. Dentro de esta optimización, hay diversos factores que se pueden alterar o cambiar. También hay que tener en cuenta el tipo de cultivo que se va a realizar.

Dentro del cultivo in vitro se puede destacar el cultivo de células indiferenciadas en medio líquido ya que presenta numerosas ventajas a la hora de producir metabolitos, proteínas u otros compuestos de interés industrial con respecto al empleo de plantas completas (1,2).

En esta línea de investigación se busca la optimización del cultivo de células en medio líquido de la especie *Nicotiana benthamiana*. Primero en matraz, para luego escalar el proceso a biorreactores. En estos ensayos en concreto se va a observar el efecto que produce la presencia o ausencia de luz, el tamaño del inóculo y el método de disgregación del callo a la hora de inocular los matraces.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Como planta modelo para el estudio se empleó la especie vegetal *Nicotiana benthamiana*. Todo el material vegetal, incluidas semillas, plántulas y callos, pertenecen al grupo de Genética y Biología Molecular del Instituto de Biotecnología Vegetal de la Universidad Politécnica de Cartagena. Las composiciones de los medios de cultivo para la inducción y mantenimiento de callo, así como para el cultivo en medio líquido, aparecen en la Tabla 1.

2.2 Métodos

Para la inducir la producción de callo se cortan hojas de las plántulas y se cultivan en placas con el medio específico para la formación de callo. En el caso del cultivo celular en medio líquido, el procedimiento para su inicio consiste en extraer porciones de callo friables, disgregarlas e introducir las en los matraces con el medio de cultivo determinado.

Las condiciones de cultivo establecidas son termoperíodo 25/18°C y fotoperíodo 16/8 horas luz/oscuridad. Los matraces se incuban con agitador orbital a 150 rpm durante un periodo de 14 días. En los ensayos para observar el efecto de la presencia o ausencia de luz, los matraces con la condición de oscuridad se tapan con papel de aluminio completamente.

Para analizar el crecimiento de los cultivos en los matraces, se emplea el método de peso húmedo (*Wet Cell Weight*). Se filtra el contenido de cada matraz usando un filtro de hemicelulosa tarado y se pesa la biomasa final.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, en la Fig. 1 se puede observar la diferencia de peso entre el inicio (peso del inóculo) y el final del cultivo de matraces empleando dos métodos diferentes de disgregación del callo: en Eppendorf con vórtex o con espátula de forma directa dentro del matraz. Existe una gran diferencia en el crecimiento de los matraces empleando un método u otro ($p < 0,05$), siendo la disgregación directa la mejor opción.

Posteriormente, los resultados del crecimiento de los matraces de los ensayos sobre efecto de la presencia o ausencia de luz se presentan en la Fig. 2. Aunque el crecimiento en presencia de luz sea levemente mayor, la diferencia es muy poco notable. Según el análisis estadístico ANOVA $p < 0,05$, pero el valor es muy cercano.

Por último, los resultados del último ensayo, evaluando el efecto que producen diferentes tamaños de inóculo, se pueden observar en la Fig. 3. Hay tres grupos diferentes de tamaños de inóculo: entre 1-3%; entre 3,5-5% y entre 10-15%, todos en peso/volumen. Se puede apreciar una clara evidencia de que, a mayor tamaño de inóculo, el crecimiento del cultivo es mayor. En los matraces con bajo porcentaje de inóculo, el crecimiento es casi imperceptible: tras dos semanas de cultivo la biomasa se mantiene casi igual que al inicio. Sin embargo, cuando el porcentaje de inóculo supera el 10%, sí que se observa un aumento apreciable en la biomasa total.

4. CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados obtenidos en los experimentos, se puede concluir que los cultivos crecen mejor cuando se emplea el método de disgregación directa con espátula y que el tamaño de inóculo mínimo para poder observar un crecimiento notable es del 10% peso/volumen. Sin embargo, la luz no es un factor tan determinante en la producción de biomasa de esta especie vegetal.

El que exista un tamaño mínimo de inóculo puede deberse a que exista algún tipo de señalización que dependa de la densidad celular y que active o inhiba el crecimiento celular a determinadas densidades del cultivo. Para verificar esta hipótesis, en próximos ensayos se realizarán análisis transcriptómicos en búsqueda de estas señales.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible gracias a la financiación de la empresa BIONET S.L. y la ayuda DIN2020-011559 financiada por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033. También agradecer al departamento de Genética y Biología Molecular de la Universidad de Cartagena por aportar los materiales necesarios para realizar los ensayos.

6. REFERENCIAS

- Hellwig S, Drossard J, Twyman R, Fischer R. Plant cell cultures for the production of recombinant proteins. *Nat biotechnol.* 2004;22(11):1415-22.
- Santos RB, Abranches R, Fischer R, Sack M, Holland T. Putting the Spotlight Back on Plant Suspension Cultures. *Front Plant Sci.* 2016. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00297/full>

Tabla 1. Composición medio de cultivo para el material vegetal de *N. benthamiana*.

Compuesto	Inducción y mantenimiento callo	Medio líquido
	Concentración (g/L)	
Sacarosa	30	30
Murashige & Skoog basal	4,3	4,3
Myo-Inositol	0,1	0,1
KH ₂ PO ₄	0,204	0,204
Ácido nicotínico	0,5*	10*
Piridoxina	0,5*	5*
Tiamina	0,5*	10*
Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	0,4*	2*
Kinetina	0,1*	0,1*
Phytagar	7,5	-

*Concentraciones en mg/L.

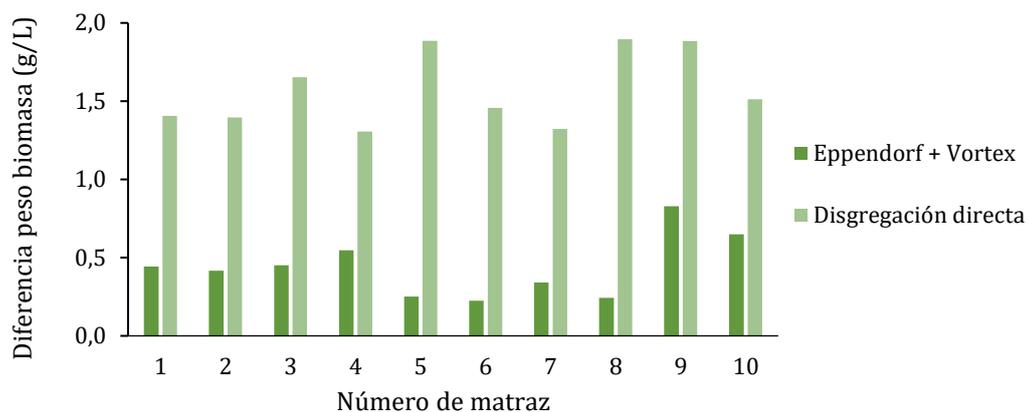


Figura 1. Diferencia de peso entre la biomasa inicial y final tras 14 días de cultivo usando métodos diferentes de disgregación.

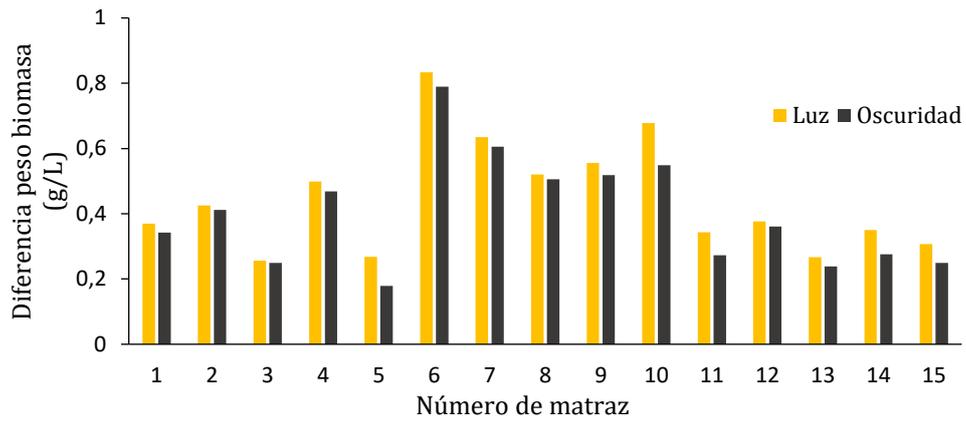


Figura 2. Diferencia de peso entre la biomasa inicial y final tras 14 días de cultivo bajo condiciones de luz y oscuridad.

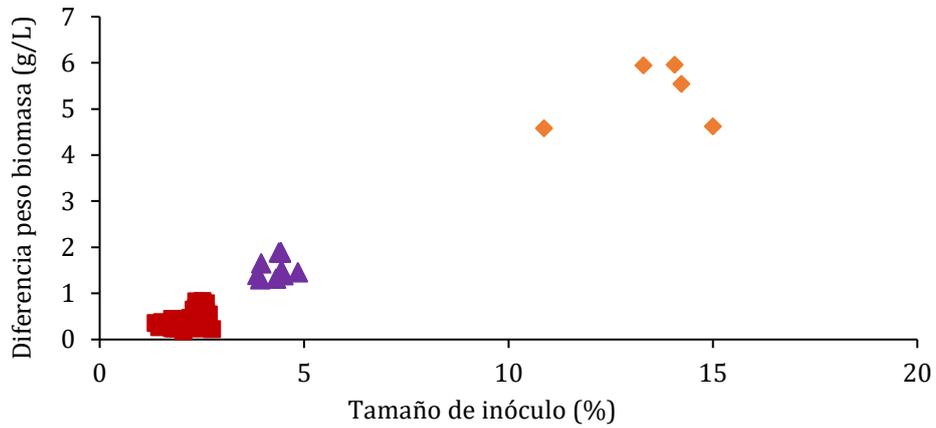


Figura 3. Diferencia de peso entre la biomasa inicial y final tras 14 días de cultivo empleando diferentes tamaños de inóculo. Las figuras rojas corresponden con valores de inóculo de entre el 1-3%, las moradas con valores comprendidos entre 3,5-5% y las naranjas a valores entre 10-15%.

Respuesta de la comunidad microbiana a la desinfección del suelo con compost

Response of microbial community to soil disinfection with compost

A. Hernández-Lara^{1*}, M. Ros¹, J. Cuartero¹, C. Egea-Gilabert^{2,3}, J.A. Pascual¹

¹Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS). Campus Universitario de Espinardo, 30100, Murcia, España.

²Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. P^o Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

³Instituto de Biotecnología Vegetal. Edificio I+D+I. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar, 30202, Cartagena, Murcia, España.

*ahernandez@cebas.csic.es

Resumen

Evaluamos una enmienda de compost incorporada a un proceso de solarización en comparación con la solarización de suelos agrícolas para determinar si produce algún efecto beneficioso sobre la comunidad microbiana, la fertilidad y la funcionalidad del suelo relacionado con el ciclo del N y C. Se tomaron muestras al inicio (T1), una semana después de añadir los tratamientos (T2) y justo al terminar los tratamientos (T3). La solarización del suelo con enmienda de compost (SEC) enriqueció el suelo con diferentes bacterias y hongos, que se caracterizaron por estar involucradas en diferentes funciones relacionadas con el ciclo del N y C; promotores del crecimiento de las plantas o defensa contra patógenos en comparación con el suelo no modificado (SNM). El compost dio un valor agregado al suelo al aumentar la actividad microbiana, la diversidad microbiana y la composición de la comunidad, aumentando la fertilidad funcional del suelo manteniendo el ciclo del C y N del suelo.

Palabras clave: enmienda de compost; solarización del suelo; comunidad microbiana.

Abstract

We evaluated a compost amendment incorporated into a solarization process compared to solarization of agricultural soils to determine if it produced any enhanced effects on the microbial community, fertility, and soil functionality related to N and C cycling. at the beginning (T1), one week after adding the treatments (T2) and just after finishing the treatments (T3). Soil solarization with compost amendment (CAS) enriched the soil with different bacteria and fungi, which were characterized by being involved in different functions related to the N and C cycle; plant growth promoters or defense against pathogens compared to unmodified soil (NAS). CAS brought added value to the soil by increasing microbial activity, microbial diversity, and community composition, increasing functional soil fertility maintaining the soil C and N cycle.

Palabras clave: compost amendment; soil solarization; microbial community.

1. INTRODUCCIÓN

La solarización, es una forma libre de químicos para controlar los patógenos y malezas, implica una cubierta del suelo con una película de plástico transparente para atrapar radiación solar y acumular calor y humedad (1). La solarización perturba el equilibrio biológico microbiano

en el suelo y provoca un vacío biológico que puede permitir el restablecimiento de patógenos introducidos en el suelo después del final del proceso de solarización (1). La incorporación de una enmienda orgánica durante la solarización contribuye al aumento de microorganismos beneficiosos. Esto se debe a la acumulación de compuestos volátiles producidos por la descomposición de los compuestos orgánicos en el compost, combinado con elevadas temperaturas provocadas por la solarización (2,3) y ayudado de microorganismo endógenos del suelo, así como los introducidos vía enmiendas orgánicas (4). Se podría esperar que la comunidad microbiana del suelo varíe después de la solarización y la enmienda de compost (5). El compost es rico en materia orgánica que puede alterar las comunidades microbianas en el suelo y la abundancia de los microorganismos relacionados con el ciclo de C y N a través de cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo (6).

El objetivo fue observar los cambios significativos en la comunidad de bacterias y hongos y los cambios en los genes funcionales relacionados con el ciclo de C y N relacionados con la enmienda de compost durante la solarización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Experimento de campo y muestreo

Se realizó en Cartagena entre julio de 2020 y noviembre de 2020. Se utilizaron seis parcelas con dos tratamientos y tres repeticiones de cada tratamiento. En el tratamiento de solarización, el suelo se cubrió con plástico de polietileno transparente (SNM); el tratamiento combinado de solarización y compost, el suelo se cubrió con el plástico de polietileno transparente después de incorporar el compost (SEC). El compost fue elaborado con un 72% de poda de viñedo y 28% de residuo de puerro.

Se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 10 cm. Hubo tres muestreos a lo largo del experimento: justo después de agregar compost y antes de colocar la cubierta de plástico (24 julio de 2020) (T1); una semana después de colocar la cubierta de plástico (14 de agosto de 2020) (T2); y antes de quitar la cubierta de plástico (18 de noviembre de 2020) (T3). Se almacenó a -80°C para la extracción de ADN.

2.2 Extracción de ADN y secuenciación

El ADN fue extraído de 0,5 g de suelo usando el kit Dneasy PowerSoil (Qiagen, Alemania). La cantidad y calidad de los extractos de ADN fue cuantificada usando NanoDrop 2000 fluoroespectrómetro (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Los primers fueron 515F y 909R para bacterias, ITS4 y gITS7 para hongos. El estudio de la comunidad microbiana se realizó a través de la amplificación por PCR utilizando la plataforma Illumina.

2.3 Análisis bioinformático y estadístico

Para estudiar las diferencias en las propiedades de las pilas del compostaje, se aplicaron distintas pruebas estadísticas dependiendo de si se cumplían las condiciones de normalidad y homocedasticidad previamente comprobadas: Anova o Kruskal-Wallis.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferentes bacterias y hongos fueron significativamente más altos en SEC que en SNM debido al compost agregado que aportó nutrientes para los microorganismos del suelo. La Fig. 1 muestra las diferencias significativas a nivel de género bacteriano y fúngico para cada tiempo de muestreo entre tratamientos. Solo se representaron los géneros que mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Los géneros bacterianos se mostraron en la Fig. 1A, en T1, solo *Photobacterium*, *Pseudomonas*, *Nocardioides*, *Glycomyces* y *Blastococcus* mostraron mayor abundancia en SEC que en SNM. En T2, los géneros significativos aumentaron en SEC. En T3 solo *Nitrospira* y *Acidibacter* fueron más abundantes en SEC que en SNM. SEC contenía bacterias

relacionadas con funciones biogeoquímicas; *Woeseia* que realiza diversas funciones ecológicas como la desnitrificación (7); *Glycomyces* que participa en la degradación de la materia orgánica; *Photobacterium*, *Pseudomonas* y *Sphingomonas* que son promotores del crecimiento y supresión de enfermedades de plantas (8, 9); y NMD1, que es oxidante de nitrito y está involucrado en la nutrición de las plantas (7). A diferencias de los géneros bacterianos, los géneros fúngicos tuvieron menor representación (Fig. 1b). Durante el proceso, los géneros más abundantes en SEC fueron *Acremonium*, *Thermomyces* y *Ascobolus*. *Acremonium* es un hongo dominante en suelos y observado en suelos tratados con residuos orgánicos; *Thermomyces*, utilizado para potenciar las defensas de las plantas contra patógenos, además, está involucrado en el ciclo de C debido a su capacidad degradando celulosa y en el ciclo de N como fijador (8). Géneros como *Luteimonas*, *Sphingomonas* y *Ascobolus* pueden considerarse supresores de enfermedades transmitidas por el suelo (9).

El uso de compost como enmienda orgánica promueve la microbiota del suelo y mejora su expresión génica (6). El compost tuvo un efecto notable en la expresión de genes del ciclo N y C (Fig. 2A y B), excepto en T2, donde ambos tratamientos mostraron una expresión más baja debido al aumento de temperatura. El gen *nifD* cataliza el proceso de fijación de N, lo que podría explicar la abundancia de *Thermomyces*. Genes *amoA* y *amoB* contribuyen a la oxidación de amoníaco debido a la abundancia de NMD1 y *Woeseia*. El aumento de *nosZ* disminuye el efecto invernadero y el incremento de *nirk* en SEC favoreció las tasas más altas de reducción de nitrato a amonio (10). La abundancia de genes involucrados en la degradación de celulosa, hemicelulosa y lignina sugiere que mejoró la disponibilidad nutricional en el suelo modificado con compost (3).

4. CONCLUSIONES

Se puede concluir que la combinación de compost y solarización agregó valor para el suelo al aumentar la fertilidad del suelo, la actividad, diversidad y funcionalidad microbiana, cambiando además la composición de la comunidad.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad por la financiación recibida para llevar a cabo el proyecto AGL 2017-84085-C3-1-R.

6. REFERENCIAS

1. Kanaan H, Frenk S, Raviv M, Medina S, Minz D. Long and short term effects of solarization on soil microbiome and agricultural production. *Appl Soil Ecol.* 2018;124:54–61.
2. Kanaan H, Medina S, Raviv M. The effects of soil solarization and compost on soil suppressiveness against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. *Compost Sci Util.* 2017;25(3):206–10.
3. Fernández-Bayo JD, Hestmark K V, Claypool JT, Harrold DR, Randall TE, Achmon Y, et al. The initial soil microbiota impacts the potential for lignocellulose degradation during soil solarization. *J Appl Microbiol.* 2019;126(6):1729–41.
4. Bonanomi G, Chiurazzi M, Caporaso S, Del Sorbo G, Moschetti G, Felice S. Soil solarization with biodegradable materials and its impact on soil microbial communities. *Soil Biol Biochem.* 2008;40(8):1989–98.
5. Simmons CW, Guo H, Claypool JT, Marshall MN, Perano KM, Stapleton JJ, et al. Managing compost stability and amendment to soil to enhance soil heating during soil solarization. *Waste Manag.* 2013;33(5):1090–6.
6. Yanardağ IH, Zornoza R, Bastida F, Büyükkiliç-Yanardağ A, García C, Faz A, et al. Native soil organic matter conditions the response of microbial communities to organic inputs with different stability. *Geoderma.* 2017;295:1–9.
7. Zhang D, Yan D, Cheng H, Fang W, Huang B, Wang X, et al. Effects of multi-year biofumigation on soil bacterial and fungal communities and strawberry yield. *Environ Pollut.* 2020;256:113415.
8. Fu H, Li H, Yin P, Mei H, Li J, Zhou P, et al. Integrated application of rapeseed cake and green manure enhances soil nutrients and microbial communities in tea garden soil. *Sustainability.* 2021;13(5):2967.
9. Hernández-Lara A, Ros M, Cuartero J, Bustamante MÁ, Moral R, Andreu-Rodríguez FJ, et al. Bacterial and fungal

community dynamics during different stages of agro-industrial waste composting and its relationship with compost suppressiveness. *Sci Total Environ.* 2022;805:150330.

10. Llimós M, Segarra G, Sancho-Adamson M, Trillas MI, Romanyà J. Impact of olive saplings and organic amendments on soil microbial communities and effects of mineral fertilization. *Front Microbiol.* 2021;12.

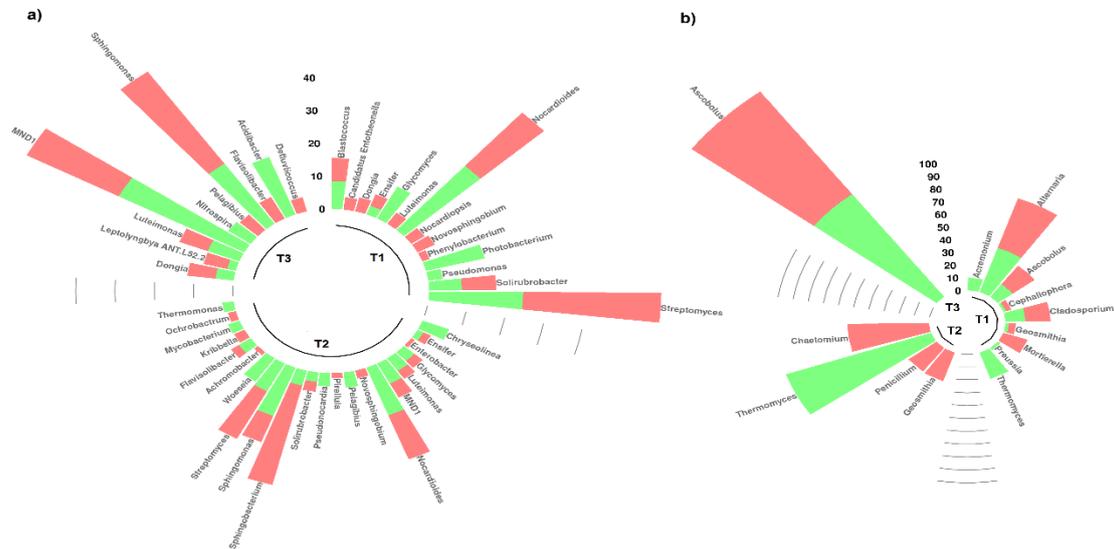


Figura 1. Gráfico de barras apiladas circulares que muestra los géneros bacterianos (a) y los géneros fúngicos (b) a lo largo del experimento. El color rojo corresponde al suelo no modificado (SNM) y el color verde corresponde al suelo enmendado con compost (SEC).

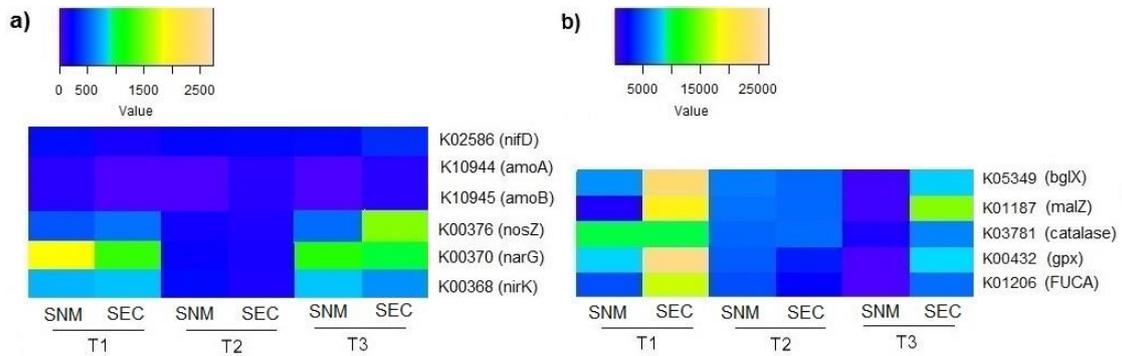


Figura 2. Mapa de calor de la expresión génica bacteriana a) genes de nitrógeno y b) genes de carbono a lo largo del experimento.

Describiendo la respuesta al choque térmico de *Bacillus* spp. bajo condiciones de inactivación isotérmicas

Describing the heat shock response of *Bacillus* spp. under isothermal inactivation conditions

L. Georgalis*, P.S. Fernández, A. Garre

Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. P^o Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*leonidas.georgalis@upct.es

Resumen

El estrés ambiental y los métodos de procesamiento de alimentos, como el calentamiento, la acidez, son responsables de provocar respuestas adaptativas a las bacterias. La respuesta general al estrés en la mayoría de las bacterias Gram positivas, incluidas *B. subtilis*, *L. monocytogenes*, está regulada por el factor sigma alternativo σ_B que induce la transcripción de genes capaces de proporcionar a las células vegetativas resistencia al estrés. En este estudio, se analizó la resistencia al calor de las células vegetativas de *B. subtilis* bajo calentamiento isotérmico, así como la influencia de la ausencia del gen sigB en la resistencia al calor bacteriano. Los experimentos isotérmicos se llevaron a cabo en agua peptonada (pH 7) a 51, 52,5, 55 y 57,5°C y mostraron que ambas cepas eran bastante sensibles al calor. El mutante sigB presentó mayor inactivación a 51 y 52.5°C.

Palabras clave: seguridad alimentaria; evaluación de riesgos; factor sigma; respuesta al calor.

Abstract

Adaptive responses to bacteria are triggered by environmental conditions and food processing processes such as heating and acidity. In the majority of Gram positive bacteria, including *B. subtilis* and *L. monocytogenes*, the overall stress response is governed by the alternative sigma factor σ_B (sigB), which stimulates the transcription of genes that provide resistance to stress to the vegetative cells. The heat resistance of *B. subtilis* vegetative cells was investigated under isothermal heating, as well as the effect of the sigB gene absence on bacterial heat resistance. Isothermal studies at 51, 52.5, 55, and 57.5°C in peptone water (pH 7) demonstrated that both strains were extremely heat sensitive. At 51 and 52.5°C, the sigB mutant presented more inactivation.

Keywords: food safety; risk assessment; sigma factor; heat response.

1. INTRODUCTION

Heat stress can modify numerous morphological and phenotypical characteristics of the cell, including changes in protein homeostasis and nuclear activities. For example, a rapid increase in temperature results in protein unfolding and the formation of protein aggregates. Cellular functions such as growth and proliferation are hindered, and the cumulative effects can culminate in cell death. Nonetheless, when heat stress is not lethal, it can result in increased resistance to progressively severe pressures. This could be because of the development of so-called heat shock proteins (HSPs), which can also elicit cross-protection in response to other stimuli (1).

The heat shock response is a mechanism by which cells maintain homeostasis and remove accumulated proteins. Chaperones are a significant class of HSPs. Chaperones bind to unfolded

proteins and allow them to refold to their original state. This prevents the creation of massive aggregates, which would otherwise result in cell death (2). In general, sigma factor B plays a critical role in the control of the stress response in bacteria such as *Bacillus*, *Listeria monocytogenes*, and *Staphylococcus aureus* (3). Stress is perceived and then signalled, activating the sigma factor, which binds to RNA polymerase and induces transcription of the B regulon (-regulated genes) (4).

Understanding the vegetative cells' heat adaptive response can also provide light on the spores' great heat resistance. According to Periago *et al.* (5), minor heat stress on *B. subtilis* vegetative cells may result in the production of more heat resistant spores. The purpose of this study was to determine the behaviour of *B. subtilis* 168 wild type and its sigB mutant when subjected to isothermal heating.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Bacterial culture and media

Experiments were performed using the *Bacillus subtilis* strains 168-wild type and the mutant BY47 supplied by NIZO (<https://www.nizo.com>), the Netherlands. The wild type possesses the sigB gene, a regulator that controls about 300 genes, whereas in the BY47 it is deleted, meaning that the cells have lost an important regulator that helps them adapt to stress. However, the mutant has other heat regulon regulators that are still active.

To prepare the growth culture, 100 μ L of working stock was transferred to 10 mL Luria-Bertani (LB) broth medium (Scharlab Chemie S.L., Spain) and then incubated at 30°C for less than 12 hours, with constant stirring at 200 rpm. After the overnight incubation, a washing step was followed. The culture was centrifuged for 10 min at 4°C and at 3600 rpm and then, the supernatant was removed, and 1ml peptone water (Scharlab Chemie S.L., Spain) was added to the sediment. This procedure was followed for both strains.

2.1 Thermal treatment and survival enumeration

Thermal treatments were carried out using a Mastia thermoresistometer (6). Before starting the treatment, the vessel was filled with 400 mL of peptone water (10 g/L peptone from casein (Scharlau Chemie) and 5 g/L NaCl (Scharlau Chemie) as the heating medium. In order to achieve a homogeneous temperature distribution, the vessel of the thermoresistometer was constantly stirred during the treatment. The heating medium was inoculated with 0.2 mL of the bacterial suspension in order to achieve approximately 10^6 CFU/mL

Isothermal experiments were performed at 51, 52.5, 55, 57.5°C, keeping the temperature constant during the treatment. Once the temperature in the vessel was stable, the bacterial suspension was inoculated. The heating medium was adjusted to pH 7.0 for both strains during treatments.

2.2 Modelling of microbial inactivation

The models were fitted to the data obtained under isothermal conditions using the one-step approach with the *bioinactivation* package for R (7).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Isothermal experiments in peptone water pH 7 demonstrated that the vegetative cells of *B. subtilis* behave similarly at 55 and 57.5°C, with high inactivation rates, implying that *B. subtilis* is extremely heat sensitive (Fig. 1). This is also evident in the predicted heat resistance parameter obtained from fitting the data to the Weibull inactivation model. At 52.5°C, the wild type has a $\delta_{52.5}=0.63$ min, whereas the mutant has a $\delta_{52.5}=0.25$ min (Table 1).

Additionally, we observed differences in the delta values of the wild type and mutant at temperatures of 51 and 52.5°C, which can be explained by the mutant lacking the sigB gene, making it more heat sensitive, whereas there is no significant difference in the delta values at 55 and 57.5°C, a temperature that can cause severe damage to *B. subtilis* vegetative cells without recovery.

Similarly, Somolinos et al. (4) observed that deletion of the sigB gene resulted in increased heat sensitivity when *L. monocytogenes* was heated in peptone water with a pH of 7 at 60°C, demonstrating that the heat inactivation rate of *Listeria* is sigB dependent. Additionally, Cebrián et al. (8) examined the effect of sigB deletion in *Staphylococcus aureus* and demonstrated that mild heat shock increased heat tolerance even in the absence of sigB. They did note, however, that wild type cells were always more resistant to heat than sigB mutant cells, indicating that this protein is essential for full heat tolerance to develop during a heat shock. Additionally, they noted that *S. aureus* activates the sigma b factor at a slower rate than *B. subtilis*.

4. CONCLUSIONES

It is well established that when bacteria survive a stress, they typically gain increased resistance to that stress and/or subsequent pressures, with *B. subtilis* being one of them. It would also be difficult to evaluate the effect on heat resistance of pre-exposure of *B. subtilis* wild type and sigB mutant to other stresses such as acid, ethanol, or even mild heat stress.

5. AGRADECIMIENTOS

Leonidas Georgalis is grateful for the “beca asociada a actividades de I+D+I”, convocatoria B-077/20, for awarding him a pre-doctoral grant.

6. REFERENCIAS

1. Richter K, Haslbeck M, Buchner J. The heat shock response: life on the verge of death. *Mol Cell*. 2010 Oct;40(2):253–66.
2. Schumann W. Regulation of bacterial heat shock stimulons. *Cell Stress Chaperones*. 2016 Nov;21(6):959–68.
3. van Schaik W, Abee T. The role of sigmaB in the stress response of Gram-positive bacteria -- targets for food preservation and safety. *Curr Opin Biotechnol*. 2005 Apr;16(2):218–24.
4. Somolinos M, Espina L, Pagán R, Garcia D. sigB absence decreased *Listeria monocytogenes* EGD-e heat resistance but not its Pulsed Electric Fields resistance. *Int J Food Microbiol*. 2010 Jun;141(1–2):32–8.
5. Periago PM, van Schaik W, Abee T, Wouters JA. Identification of Proteins Involved in the Heat Stress Response of *Bacillus cereus* ATCC 14579. *Appl Environ Microbiol*. 2002 Jul;68(7):3486–95.
6. Conesa R, Andreu S, Fernández PS, Esnoz A, Palop A. Nonisothermal heat resistance determinations with the thermoresistometer Mastia. *Journal of Applied Microbiology*. 2009;107(2):506–13.
7. Garre A, Fernández PS, Lindqvist R, Egea JA. Bioinactivation: Software for modelling dynamic microbial inactivation. *Food Res Int*. 2017;93:66–74.
8. Cebrián G, Condón S, Mañas P. Heat-adaptation induced thermotolerance in *Staphylococcus aureus*: Influence of the alternative factor σ B. *International Journal of Food Microbiology*. 2009 Nov;135(3):274–80.

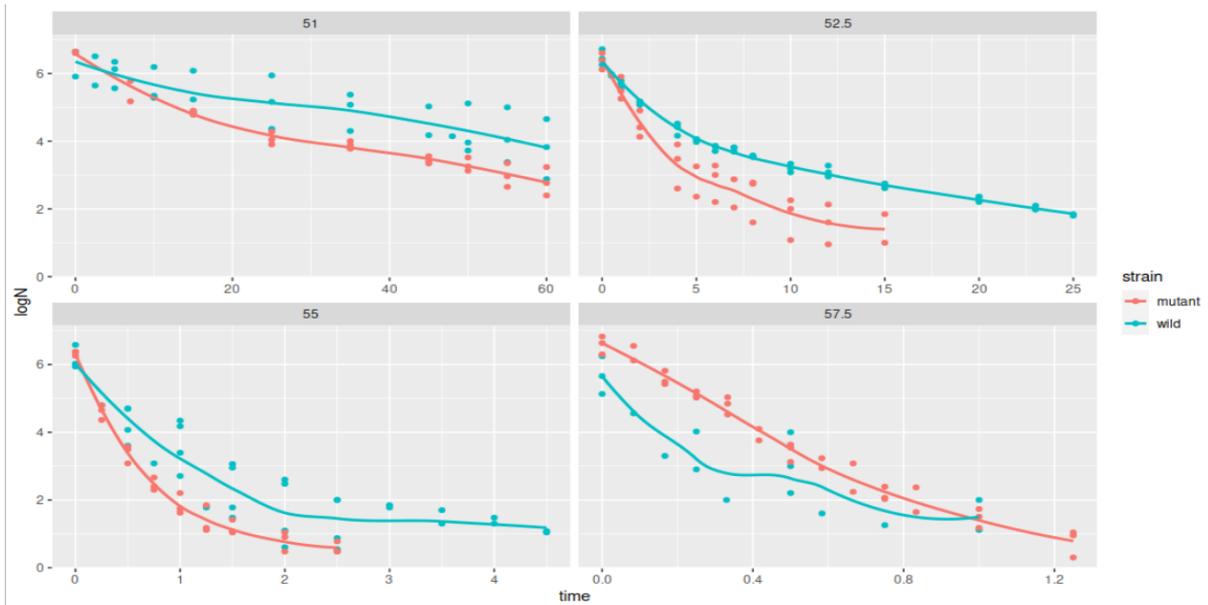


Figure 1. Comparison of isothermal inactivation of *B. subtilis* 168 (wild type) and BY47 (mutant) at 51, 52.5, 55, and 57.5°C.

Table 1. Estimated parameters of the Weibull model using Bioinactivation, obtained in peptone water under isothermal conditions, for *B. subtilis* 168 and the mutant BY47.

Strain	Temperature (°C)	δ -value (min)	$\log\delta$ (log min)	SE δ -value	p	SE p	z-value (°C)
<i>B. subtilis</i> wild type 168	51	19.08	1.28	9.02	0.76	0.25	2.87
	52.5	0.63	-0.20	0.12	0.43	0.02	
	55	0.21	-0.67	0.12	0.53	0.08	
	57.5	0.06	-1.23	0.07	0.37	0.11	
<i>B. subtilis</i> BY47 mutant	51	7.14	0.85	1.65	0.62	0.06	3.45
	52.5	0.25	-0.60	0.16	0.39	0.05	
	55	0.12	-0.91	0.03	0.66	0.06	
	57.5	0.05	-1.30	0.02	0.55	0.05	

La asociación de cultivos melón/caupí cambia la comunidad bacteriana y mejora las propiedades del suelo

A first-year melon/cowpea intercropping system improves soil nutrients and changes the soil microbial community

J. Cuartero^{1*}, JA. Pascual¹, JM. Vivo², O. Özbolat³, V. Sánchez-Navarro⁴, M. Egea-Cortines³, R. Zornoza⁴, M. Martínez-Mena¹, E. García¹, M. Ros¹

¹Grupo de Enzimología y Biorremediación de Suelos y Residuos Orgánicos. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)-CSIC. Campus Universitario de Espinardo, 30100, Espinardo, Murcia, España.

²Departamento de Estadística. Universidad de Murcia. CMN & IMIB-Arrixaca, 30100 Murcia, España.

³Grupo de Genética y Biología Vegetal. Universidad Politécnica de Cartagena. P^o Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

⁴Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. P^o Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

*jessica.cuartero@um.es

Resumen

La asociación de cultivos podría ser una alternativa al monocultivo tradicional capaz de optimizar la producción reduciendo a su vez la aplicación de fertilizantes, pesticidas y herbicidas, promoviendo cambios en la comunidad bacteriana del suelo que podrían contribuir a la salud del suelo. Para estudiar estos cambios, se realizó un estudio de las propiedades del suelo, así como de las comunidades bacterianas a través de la secuenciación del gen 16S. Los resultados mostraron como se produjo un cambio tanto en las propiedades del suelo como en las comunidades bacterianas mostrando un aumento de TOC, TN y P en los cultivos asociados, además algunos géneros como *Pseudomonas* y *Bacillus* estuvieron significativamente aumentados en los cultivos asociados, por lo que podrían haber contribuido a aumentar la cantidad de P en los suelos. Por otro lado, LEfSe reveló algunos biomarcadores resistentes a las sequías en M lo que podría deberse a las peores condiciones de agua cuando se realiza el monocultivo. En este sentido, una aplicación a largo plazo de estos cultivos asociados podría favorecer a la calidad del suelo

Palabras clave: sostenible; nitrógeno; fósforo.

Abstract

Intercropping could be an alternative to traditional monocropping, capable of optimizing yield reducing the fertilizers, pesticides, and herbicides application promoting changes on soil bacterial community which could contribute to soil health. To study these changes, a soil properties and bacterial community through 16S gene amplification was performed. The results showed how soil properties and bacterial community changed under the different cropping systems showing and increase of TOC, TN, and P in the intercropping system, in addition, some genus like *Pseudomonas* or *Bacillus*, were significantly increased in intercropping system as well, so they could have contributed to this higher availability of P on soils. On the other hand, LEfSe revealed some biomarkers drought-resistant in M which could be due to worse conditions of water where monocrop was made. In this sense, long-term intercropping system could favor to soils quality.

Keywords: sustainable; nitrogen; phosphorus.

1. INTRODUCTION

Los cultivos asociados (CA) son una práctica que implica cultivar dos o más tipos de plantas en el mismo lugar y durante la misma estación (1), una práctica que se está volviendo muy habitual en algunas zonas, ya que es capaz de mantener e incluso mejorar la calidad del suelo, así como la producción (2). En general, la asociación con leguminosas, principalmente gracias a su capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico (3) suelen ser buenas, aunque siempre es necesario estudiarlas para evitar posibles incompatibilidades como la competencia por los recursos. El caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) es una leguminosa capaz de vivir en ambientes secos y que además requiere poca fertilización gracias a su fijación de nitrógeno (4). El melón (*Cucumis melo* L.) es actualmente uno de los productos más exportados de la Región de Murcia y que, en general, provoca una gran degradación de los suelos y de agua debido a la excesiva aplicación de fertilizantes. Los microorganismos juegan un papel fundamental en el este sentido, ya que contribuyen a la estructura del suelo, al recambio de materia orgánica, al ciclo de los nutrientes e incluso a la supresión de patógenos del suelo (5) por lo que en este estudio se trata de identificar los cambios que provoca la asociación de cultivos en las propiedades del suelo, los microorganismos y encontrar las relaciones entre ellos que puedan beneficiar tanto al agricultor como al suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue llevado a cabo en La Palma (Cartagena) en un suelo que no había sido cultivado en los últimos 5 años, la temperatura y la precipitación media anual es de 18°C y 275 mm, y se estudiaron cinco tratamientos distintos: monocultivo de melón (M), monocultivo de caupí (C), mezcla melón:caupí (MC1), mezcla 1 x 1 melón:caupí (MC2), mezcla 1 x 2 melón:caupí (MC3). La distribución se realizó de manera que el número de plantas de melón no se viera disminuido, además, la aplicación de fertilizantes se redujo en un 30% en los CA.

2.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos.

Se estudiaron distintos parámetros fisicoquímicos como pH y conductividad eléctrica (EC), el carbono (TOC) y nitrógeno (TN) total, así como amonio (NH₄⁺) y el fosfato disponible (P)

2.2 Determinación de parámetros biológicos

Se analizaron, por un lado, las actividades enzimáticas fosfatasa, β-glucosidasa y deshidrogenasa, así como la expresión de los genes *amoA*, *narG* y *nirK*. Por otro lado, se estudió la comunidad bacteriana a través la amplificación del fragmento rRNA 16S que se realizó mediante la plataforma de secuenciación Ion Torrent.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio mostraron que tras el primer año de CA aparecían cambios significativos, como un incremento del P, TOC y TN así como de la cosecha en los CA con respecto al M. Además, también se encontró una mayor actividad enzimática de fosfatasa, β-glucosidasa así como expresión de genes (*amoA*, *narG* y *nirK*) en los CA, además la comunidad bacteriana también se vio altamente afectada (Fig. 1), promoviendo incluso la especialización en algunos de los taxones más abundantes como el aumento de *Pseudomonas* y *Bacillus* en los CA, por lo que este aumento de bacterias solubilizadoras de fosfato (6) puede haber sido la causa del aumento en el mismo en el suelo, como se refleja en el RDA (Fig. 2) en el que se observa como la cosecha y el P correlacionan con los CA. Además, a través de algoritmos más complejos como el Análisis discriminante lineal tamaño efecto (LEfSe) se pudieron detectar algunos biomarcadores para cada tipo de cultivo, aunque en general los biomarcadores relacionados con el monocultivo de melón fueron géneros más resistentes a la falta de agua como *Blastococcus*, *Geodermatophilus*, *Kineococcus*, *Actinoplanes*, *Kribella* o *Gemmatimonas* (7–9).

4. CONCLUSIONES

Los CA de melón y caupí mejoraron, tras solo un año de aplicación, la calidad del suelo, especialmente aumentando la cantidad de TN y P en el suelo y que podrían haber influido en el aumento de la producción de melón. Además, se encontraron géneros, como *Pseudomonas* o *Bacillus*, capaces de solubilizar el P haciéndolo biodisponible para las plantas. Por lo tanto, un estudio a largo plazo de este sistema de cultivo podría resultar especialmente interesante para los agricultores ya que con una menor aplicación de fertilizantes podrían producir una mayor cantidad de melones.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha apoyado por el proyecto AsociaHortus [AGL2017-83975-R] del Ministerio de Ciencia e Innovación, también ha sido apoyado por el proyecto Diverfarming [grant agreement 728003] de la Comisión Europea Horizon 2020 y por último ha recibido financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del programa Ramón y Cajal [RYC-2015-18758].

6. REFERENCIAS

1. Zhou X, Yu G, Wu F. Effects of intercropping cucumber with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield. *Eur J Soil Biol.* 2011;47(5):279–87.
2. Singh K, Mishra AK, Singh B, Singh RP, Patra DD. Tillage effects on crop yield and physicochemical properties of sodic soils. *Land Degrad Dev.* 2016;27(2):223–30.
3. Maitra S, Palai JB, Manasa P, Kumar DP. Potential of Intercropping System in Sustaining Crop Productivity. *Int J Agric Environ Biotechnol.* 2019;12(1):39–45.
4. Li L, Li SM, Sun JH, Zhou LL, Bao XG, Zhang HG, et al. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2007;104(27):11192–6.
5. Bever JD, Platt TG, Morton ER. Microbial population and community dynamics on plant roots and their feedbacks on plant communities. *Annu Rev Microbiol.* 2012;66:265–83.
6. Zhang W, Liu G, Sun J, Fornara D, Zhang L, Zhang F, et al. Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: Evidence from intercropping. *Funct Ecol.* 2017;31(2):469–79.
7. Castro JF, Nouioui I, Sangal V, Choi S, Yang SJ, Kim BY, et al. *Blastococcus atacamensis* sp. nov., a novel strain adapted to life in the Yungay core region of the Atacama Desert. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2018;68(9):2712–21.
8. Castro JF, Nouioui I, Sangal V, Trujillo ME, del Carmen Montero-Calasanz M, Rahmani T, et al. *Geodermatophilus chilensis* sp. nov., from soil of the Yungay core-region of the Atacama Desert, Chile. *Syst Appl Microbiol.* 2018;41(5):427–36.
9. Vobis G. The genus *Actinoplanes* and related genera. *A Handbook on the Biology of Bacteria.* 2006;3:623–53.

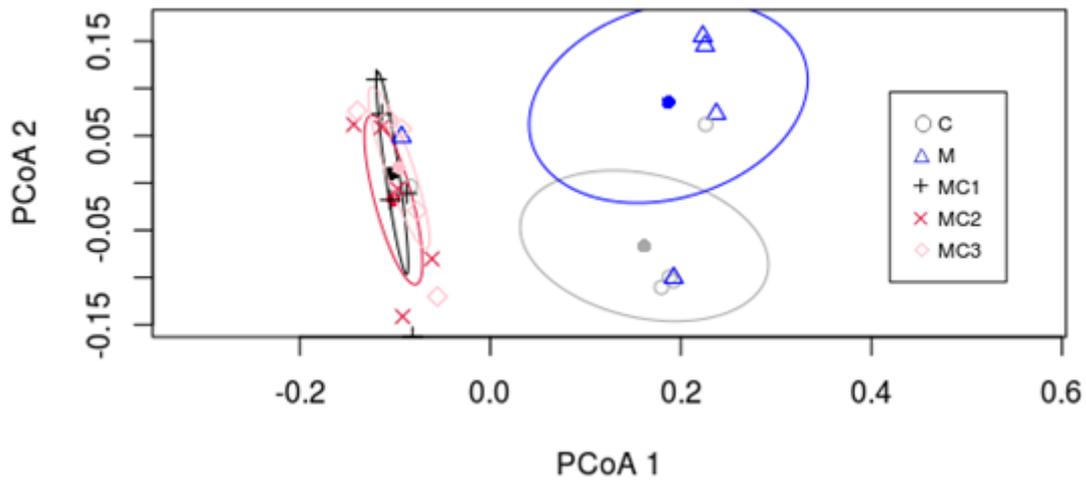


Figura 1. Análisis de coordenadas principales (PCoA) de la distribución bacteriana en los distintos sistemas de cultivo utilizando la distancia Bray-Curtis.

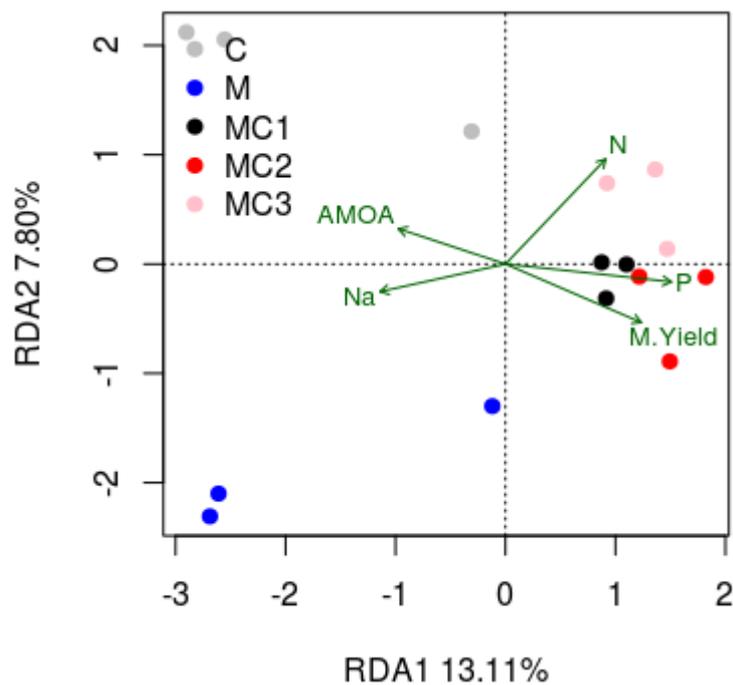


Figura 2. Análisis de redundancia (RDA) basado en la comunidad bacteriana que muestra los sitios coloreados por el grupo (tipo de cultivo) y los vectores como la correlación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Cuantificación y análisis estadístico de contaminantes en el Mar Menor

Quantification and statistical analysis of pollutants in the Mar Menor

M.C. García-Onsurbe^{1*}, Y. Vicente-Martínez², M. Caravaca³

¹Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Murcia, España.

²Departamento de Química Analítica. Facultad de Química. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo, 30100, Murcia, España.

³Departamento de Ciencias. Centro Universitario de Defensa de la Academia del Ejército del Aire. Ministerio de Defensa-Universidad Politécnica de Cartagena. C/Coronel López Peña, s/n, 30720, Murcia, España.

*mariadelcarmen.garcia2@edu.upct.es

Resumen

El Mar Menor es la laguna costera hipersalina más grande de Europa. La eutrofización es el proceso de contaminación más importante de las aguas de lagos, estanques, ríos y embalses. Este proceso es causado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes principalmente de la actividad humana. En este trabajo presentamos un análisis cuantitativo de contaminantes en las aguas del Mar Menor en diferentes playas de la laguna. Las muestras se analizaron con el sistema de cromatografía iónica.

Palabras clave: eutrofización; laguna costera; cromatografía iónica; inferencia estadística.

Abstract

The Mar Menor is the largest hypersaline coastal lagoon in Europe. Eutrophication is the most important contamination process of the waters of lakes, ponds, rivers, and reservoirs. This process is caused by the excess of nutrients in the water, mainly nitrogen and phosphorus, coming mainly from human activity. In this work we present a quantitative analysis of contaminants in the waters of the Mar Menor in different beaches of the lagoon. Samples were analyzed on the Metrohm 861 ion chromatography system.

Keywords: etrophication; coastal lagoon; ion chromatography; statistical inference.

1. INTRODUCCIÓN

El Mar Menor es la laguna costera hipersalina más grande de Europa. La presión turística, los efectos directos e indirectos de la agricultura intensiva y los restos de antiguas actividades mineras en las zonas de Cartagena y La Unión han causado una amenaza para el equilibrio ecológico del ecosistema (1). Esta se encuentra en la Región de Murcia y es un ejemplo típico de contaminación. Particularmente, la eutrofización es el proceso de contaminación más importante de las aguas de lagos, estanques, ríos y embalses. El exceso de nutrientes hace que las plantas y otros organismos crezcan en abundancia. Durante su crecimiento y putrefacción, consumen una gran cantidad de oxígeno disuelto y proporcionan abundante materia orgánica (2).

Desde la década de 1980, el Mar Menor ha recibido grandes cantidades de materia orgánica procedente de diferentes tipos de vertidos, entre los que cabe destacar las aguas residuales urbanas así como las aguas residuales agrícolas y ganaderas (3). El Mar Menor recibe continuamente grandes cantidades de aguas residuales procedentes principalmente de

actividades agrícolas e industriales (4,5). El vertido directo de estas aguas residuales no tratadas está dando lugar a graves problemas ambientales que afectan directamente a los ecosistemas marinos, cambiando el estado del sistema de oligotrófico a eutrófico (2).

Los dos compuestos principales de la actividad agrícola son los nitratos y los fosfatos (6). El nitrato es la principal fuente de nitrógeno utilizada como fertilizante para los cultivos, tiene una alta solubilidad y eso facilita su lavado en el acuífero.

Se han realizado extensos análisis para remediar y disminuir el contaminante de la laguna. Se ha desarrollado una planta piloto de biorreactores de astillas de madera para la desnitrificación de salmuera enriquecida con nitratos (7), enfoque sostenible basado en fotobiorreactores de microalgas (8), eliminación de nutrientes por una especie de pasto de humedal (*Phragmites australisen*) (6). Otro tipo de estudios presentan un procedimiento novedoso para el tratamiento de aguas contaminadas con altas concentraciones de nitratos, utilizando nanopartículas magnéticas funcionalizadas con plata ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{AgNPs}$) (9).

En este trabajo presentamos un análisis estadístico cuantitativo de contaminantes en las aguas del Mar Menor en diferentes playas de la laguna a lo largo del año 2021.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se analizaron en el sistema de cromatografía iónica Metrohm 861 (Metrohm, Herisau, Suiza), equipado con detección conductométrica y un muestreador automático (Metrohm 838 Advanced Sample Processor).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestra un resumen estadístico de los principales datos de iones en el agua de mar en la Tabla 1. Los aniones F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{2-} , NH_4^+ se cuantificaron con curvas de calibración externas.

Se seleccionaron doce puntos de muestreo en la laguna del Mar Menor (intentando una distribución uniforme a lo largo de la costa del Mar Menor). La presencia de iones caracterizó estacionalmente el agua de mar de la laguna del Mar Menor desde mayo hasta diciembre de 2021. El porcentaje de muestras en las que se detectó o cuantificó cada ion se muestra en la Tabla 2, junto con las concentraciones máximas y medias. La tabla proporciona la media estadística y la desviación estándar muestral de los doce puntos de recogida muestral a lo largo del perímetro del Mar Menor en tres épocas bien diferenciadas del año. Para contrastar si la estadística de orden de los datos se ajusta a las estadísticas de orden teórico de una distribución normal realizamos la prueba de Shapiro-Wilk.

Para verificar si las medias o medianas de los datos son iguales, realizamos una prueba de equivalencia de ubicación que realiza una prueba de hipótesis sobre los datos. En esta prueba contrastaremos la hipótesis nula de que los parámetros de ubicación verdaderos son iguales contra la alternativa de que al menos uno es diferente. Para ello Mathematica (10) utiliza la prueba de Kruskal-Wallis para verificar la prueba mediana para dos o más muestras. La prueba confirma que, en todas las pruebas realizadas para cada ion en cada momento, al menos una de las medias es diferente.

Para verificar cuál de los tres períodos difiere más de su mediana, realizaremos la prueba de rango "signado". El test trabaja con la hipótesis nula de que la mediana de los datos es cero.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo nos han permitido adquirir información acerca del estado de la laguna. El análisis estadístico usando el programa Mathematica nos lleva a confirmar que las medianas de los Períodos 2 y 3 permanecieron idénticas encontrándose las diferencias más significativas en los Períodos 1 y 2 y 1 y 3.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Centro Universitario de la Defensa de la Academia del Ejército del Aire, MDE –UPCT el apoyo económico recibido.

6. REFERENCIAS

1. Conesa HM, Jiménez-Cárceles FJ. The Mar Menor lagoon (SE Spain): A singular natural ecosystem threatened by human activities. *Mar Pollut Bull.* 2007 Jul;54(7):839–49.
2. Pérez-Ruzafa A, Gilabert J, Gutiérrez JM, Fernández AI, Marcos C, Sabah S. Evidence of a planktonic food web response to changes in nutrient input dynamics in the Mar Menor coastal lagoon, Spain. *Hydrobiol* 2002 4751 [Internet]. 2002 May 15 [cited 2021 Sep 25];475(1):359–69. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020343510060>
3. Álvarez-Rogel J, Jiménez-Cárceles FJ, Nicolás CE. Phosphorus and Nitrogen Content in the Water of a Coastal Wetland in the Mar Menor Lagoon (Se Spain): Relationships With Effluents From Urban and Agricultural Areas. *Water, Air, Soil Pollut* 2006 1731 [Internet]. 2006 May 11 [cited 2021 Sep 25];173(1):21–38. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-005-9020-y>
4. Sandonini J, Del Pilar Ruso Y, Cortés Melendreras E, Barberá C, Hendriks IE, Kersting DK, et al. The emergent fouling population after severe eutrophication in the Mar Menor coastal lagoon. *Reg Stud Mar Sci.* 2021 May;44:101720.
5. Concha-Graña E, Moscoso-Pérez C, Fernández-González V, López-Mahía P, Gago J, León VM, et al. Phthalates, organotin compounds and per-polyfluoroalkyl substances in semiconfined areas of the Spanish coast: Occurrence, sources and risk assessment. *Sci Total Environ.* 2021 Aug;780:146450.
6. Ruiz M, Velasco J. Nutrient Bioaccumulation in *Phragmites australis*: Management Tool for Reduction of Pollution in the Mar Menor. *Water, Air, Soil Pollut* 2009 2051 [Internet]. 2009 Apr 28 [cited 2021 Sep 25];205(1):173–85. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-009-0064-2>
7. Álvarez-Rogel J, Barberá GG, Maxwell B, Guerrero-Brotons M, Díaz-García C, Martínez-Sánchez JJ, et al. The case of Mar Menor eutrophication: State of the art and description of tested Nature-Based Solutions. *Ecol Eng.* 2020 Dec;158:106086.
8. Gil-Izquierdo A, Pedreño MA, Montoro-García S, Tárraga-Martínez M, Iglesias P, Ferreres F, et al. A sustainable approach by using microalgae to minimize the eutrophication process of Mar Menor lagoon. *Sci Total Environ.* 2021 Mar;758:143613.
9. Vicente-Martínez Y, Caravaca M, Soto-Meca A, Martín-Pereira MÁ, García-Onsurbe MDC. Adsorption Studies on Magnetic Nanoparticles Functionalized with Silver to Remove Nitrates from Waters. *Water* 2021, Vol 13, Page 1757 [Internet]. 2021 Jun 25 [cited 2022 May 25];13(13):1757. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1757/htm>
10. Wolfram Mathematica, V.11.3; Wolfram Research Inc.: Champaign, IL, USA, 2018.

Tabla1. Lista de especies iónicas consideradas en este estudio, mostrando los límites de detección (LOD) y sus límites de cuantificación (LOQ) expresados en ppm.

	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺
LOD (ppm)	0,11	0,94	0,07	0,26	0,32	0,76	0,04
LOQ (ppm)	0,37	3,13	0,23	0,87	1,07	2,53	0,13

Tabla 2. Frecuencia de detección (expresada como % del total de muestras), frecuencia de cuantificación, desviación media y estándar y concentración máxima para especies iónicas detectadas en la laguna del Mar Menor en las tres estaciones del año.

	Mayo (Período 1)				Septiembre (Período 2)				Diciembre (Período 3)			
	>LOD (%)	>LOQ (%)	Media+SD (ppm)	Máximo (ppm)	>LOD (%)	>LOQ (%)	Media+SD (ppm)	Máximo (ppm)	>LOD (%)	>LOQ (%)	Media+SD (ppm)	Máximo (ppm)
F⁻	100	100	1,1 ± 0,4	1,33	100	100	31 ± 0,3	4,02	100	100	3,2 ± 0,9	3,68
Cl⁻	100	100	13642 ± 6657	17918	100	100	19846 ± 5568	22343	100	100	20680 ± 6556	24284
NO₂⁻	25	25	1,3 ± 3,8	13,5	0	0	0,07	0,07	0	0	0,07	0,07
Br⁻	100	100	64 ± 31,9	84,9	100	100	67,5 ± 19,1	76,48	100	91,6	61,7 ± 19,5	71,9
NO₃⁻	41,6	41,6	5 ± 9,8	32	91,6	91,6	18,5 ± 8,5	31,52	83,3	75	18 ± 10,6	24,39
PO₄³⁻	8,3	8,3	0,9 ± 0,7	3,1	0	0	0,8	0,8	0	0	0,8	0,8
NH₄⁺	0	0	0,04	0,04	0	0	0,04	0,04	0	0	0,04	0,04



Universidad
Politécnica
de Cartagena

edicionesUPCT