



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**

Grado en Ingeniería de la Hortofruticultura y Jardinería

TRABAJO FIN DE GRADO

"La aireación de la solución nutritiva afecta a la producción y postcosecha del berro (*Nasturtium officinale*) en el sistema de cultivo en bandejas flotantes."

Dirigido por:

Juan A. Fernández Hernández

Catalina Egea Gilabert

Realizado por:

Diana Niñirola Campoy

Tabla de contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Antecedentes.....	2
La IV Gama	4
Material Vegetal	6
El sistema de riego en bandejas flotantes (<i>Floating System</i>).....	11
Aireación de la solución nutritiva.....	14
Momento de la recolección.....	15
Objetivo	16
MATERIAL Y MÉTODOS	17
Producción	17
Generales del cultivo	17
Acondicionamiento de las instalaciones.....	17
Siembra y manejo del cultivo	19
Condiciones climáticas durante el cultivo.....	21
Recolección y toma de datos	22
Crecimiento y rendimiento	23
Postcosecha.....	24
Generales del almacenamiento	24
Análisis de compuestos	26

Análisis estadístico	30
RESULTADOS	31
Producción	31
Postcosecha.....	35
DISCUSIÓN.....	45
Producción	45
Postcosecha.....	47
CONCLUSIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA	51

RESUMEN

El berro (*Nasturtium officinale*) es una planta de consumo doméstico muy apreciada en las ensaladas por su contenido en vitaminas y elementos beneficiosos para la salud. Los sistemas de cultivo sin suelo permiten la producción de hojas limpias, facilitando y acortando el manejo de postcosecha en las industrias de procesado, y controlando los factores de crecimiento. El objetivo de esta investigación fue estudiar los efectos de diferentes niveles de aireación [sin aireación (NA), baja aireación (LA) y alta aireación (HA)] de la solución nutritiva en dos momentos de recolección (38 y 45 días después de la siembra) en la producción y calidad de berro cultivado en un sistema de bandejas flotantes y en toda su vida útil como un producto de IV Gama. Los tratamientos de aireación de la solución nutritiva no afectaron al crecimiento y desarrollo de la planta ni a su contenido en potasio pero aumentó el contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante, los nitratos, oxalatos, Ca^{2+} y la actividad microbiana. El retraso en la recolección dio lugar a un mayor rendimiento del cultivo y a una mayor capacidad antioxidante, contenido en fenoles totales, calcio, potasio, así como un aumento de la concentración de nitratos, oxalatos y la actividad de los psicrófilos. Al final del periodo de almacenamiento a 5°C disminuyeron los fenoles totales, nitratos, oxalatos, calcio y potasio. Por el contrario, la capacidad antioxidante y la actividad microbiana aumentaron durante el periodo de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los cambios sociales de los últimos años han afectado tanto en aspectos familiares (menor número de individuos por familia, etc.) como en lo laboral (comer fuera de casa, la total incorporación de la mujer al trabajo, etc.) que han tenido repercusiones importantes en la nutrición. Prevalece hoy en día, la necesidad de comidas ligeras, equilibradas y sanas siguiendo el patrón saludable.

En el 2012 la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) y la Fundación Alimentum firmaron un convenio de colaboración para el desarrollo de un Plan de fomento de Hábitos de Vida Saludables en la Población Española (Plan HAVISA). Se trata de una campaña de comunicación en medio televisivo, que se concreta en dar visibilidad a mensajes y leyendas dirigidos a la promoción de una alimentación saludable y de la práctica regular de actividad física, en consonancia con la Estrategia NAOS (estrategia para la nutrición, actividad física y prevención de la obesidad) (Figura 1).



Figura 1: Logotipo del Plan HAVISA (<http://www.habitosdevidasaludables.com>) y de la Estrategia NAOS (<http://www.naos.aesan.mssi.gob.es>)

En la dieta moderna las verduras tienden a perder el uso característico que se le había dado hasta el momento, para asumir un papel alternativo a la carne y el pescado (Meletti, 2006).

Desde este punto de vista, cabía la idea de sugerir un nuevo concepto del consumo de frutas y hortalizas, pero siempre desde los más rigurosos controles de calidad y seguridad, tanto alimentaria como ambiental, haciendo llegar al consumidor un producto con ciertos valores añadidos muy atractivos para el usuario y por el que merece la pena gastar un poco más.

Para conseguir cumplir con las demandas del consumidor la industria del procesado de frutas y hortalizas, y hasta los mismos agricultores, han tenido que realizar adaptaciones incluyendo nuevos sistemas de cultivo, maquinaria (Figura 2), e incluso, nuevas especies mejor adaptadas a las nuevas gamas alimentarias.



Figura 2: Máquina de recolección para *baby leaf* (Jornada puertas abiertas Rijk Zwaan 2008).

Este cambio en la sociedad ha ido acompañado, en las últimas décadas, de la extensión de los cultivos protegidos a multitud de producciones (uva de mesa, cítricos, etc.) pero ha sido la horticultura de ciclo manipulado la que se ha mostrado más adecuada para adaptarse a la agricultura desestacionalizada, con una intensa aplicación de tecnología tanto en el riego como en la lucha contra enfermedades y plagas,

prescindiendo en ocasiones del suelo sustituido por soportes de material artificial y protegidos con cubiertas de plástico en la primera fase del crecimiento de la planta o invernaderos donde se realiza el ciclo completo de cultivo. Este tipo de instalaciones complejas permiten adaptarse a la necesidad de continua innovación que exige el mercado de los productos mínimamente procesados.

En la búsqueda constante de productos con mejores cualidades organolépticas, especies con más efectos beneficiosos para la salud, completamente seguras, e incluso, que no perjudique al medioambiente en ninguna de las fases de producción, se ha tenido que hacer uso de lo último en investigación, ajustando y adaptando abonos, optimizando el uso del agua, caracterizando y seleccionando variedades para su adaptación a nuevos sistemas de cultivo, optimizando la producción para cada línea de producción, etc.

La IV Gama

Las gamas alimentarias definen los diferentes formatos en los que se pueden presentar los alimentos dependiendo de su grado de transformación antes de llegar a manos del consumidor y, por consiguiente, el grado de elaboración que necesitan para su consumo final.

Hay cinco gamas alimentarias:

1ª Gama; son las verduras y frutas frescas, además se incluyen las conservas de tomate.

2ª Gama; incluye las latas de espárragos, alcachofas, judías, etc., aquellas que han sido escaldadas o blanqueadas.

3ª Gama; concentra las hortalizas congeladas que tienen que ser cocinadas.

4ª Gama; son los vegetales conservados listos para comer. Es la gama en la que se encuentran productos mínimamente procesados en fresco y para los que se producen las especies tipo “*baby leaf*”.

5ª Gama; son las verduras ya cocinadas (platos preparados que sólo hay que calentar), también las salsas y los sofritos.

Se define IV Gama como el conjunto de procesos que sufren las frutas y hortalizas frescas para su consumo en un formato que las ofrece limpias, troceadas y envasadas, manteniendo sus propiedades naturales intactas.

Se caracterizan por embalajes especiales, rigurosos test de calidad y seguridad, y una caducidad de 7 a 10 días.

Los alimentos de la cuarta gama cumplen con los requisitos que en la actualidad demandan los consumidores, son productos con valores añadidos como la alta calidad de sus grasas, como los omega 3 y 6, el aporte de fibra, minerales, vitaminas y otros nutrientes muy beneficiosos para la salud, así como, una presentación atractiva, con los productos listos para consumir.

Las fases de la Cuarta Gama son:

- Producción; las materias primas se cultivan en las mejores condiciones.
- Recolección; las frutas y hortalizas se recolectan en óptimas condiciones higiénicas.
- Selección; es un proceso manual que consiste en desechar partes o productos que no cumplan los parámetros de calidad.

- Lavado; prepara el producto para su consumo directo, se suelen realizar varias fases.
- Envasado; dependiendo del producto se optará por un envase u otro.
- Almacenamiento; el producto se mantiene entre 1 y 4 ° C tanto en centro de venta como durante el transporte.

En la actualidad el consumo de productos de Cuarta Gama alcanza un 60% de los hogares españoles. La comercialización en España de estos productos supera las 60000 t al año dando un volumen de negocio de 200 millones de euros.

Este producto se ha implantado en los países con mayor poder adquisitivo, siendo Reino Unido, Francia e Italia los países de Europa donde hay mayor consumo.

Material Vegetal

*El berro (*Nasturtium officinale*)*

Nasturtium viene del latín *nasus* = "naríz" y *tortus* = "torcido" debido al olor picante que desprende la planta, El *Nasturtium officinale* (Figura 3) es conocido comúnmente como berro, mastuerzo de agua o ´watercress` en inglés. Es una planta semiacuática que se encuentra en la orilla de riachuelos y arroyos de aguas claras. Es originaria de Europa y Asia Central, ha sido usada desde tiempos inmemoriales por la medicina popular para aliviar problemas respiratorios y afecciones cutáneas.



Figura 3: Detalle de hojas de berro e imagen de planta salvaje de berro (www.plantasmedicinales.net)

Descripción botánica

El berro, pertenece al reino Plantae, a la división Magnoliophyta, a la clase Magnoliopsida, al orden Brassicales, la familia *Brassicaceae*, al género *Nasturtium* y la especie *Officinale*, su nombre botánico es *Nasturtium officinale* R. Br..

Es una planta perenne, acuática o semiacuática, rastrera o flotante, glabra y de entre 10 a 60 cm de altura, tiende a agruparse en grandes colonias. Los tallos ascendentes son huecos, ramificados, algo carnosos y con raíces en los entrenudos. Las hojas (Figura3), de color verde oscuro, son glabras, bipinnadas, de 5 a 15 cm de ancho, con 3 a 11 foliolos de ovados a orbiculares, con los bordes subenteros, siendo el foliolo terminal el más grande.



Figura 4: Detalle de las raíces en los entrenudos y fruto del berro (www.conabio.gob.mx).

Las flores (Figura 3), pequeñas, amarillas o blancas, tienen cuatro sépalos verdes de alrededor de 2 mm de largo, con cuatro pétalos de entre 3 a 5 mm de largo, seis estambres y un único pistilo y se reúnen en inflorescencias en ramilletes o panículas axilares y terminales. Los frutos son silículas rectas o encorvadas, cilíndricas, de 1 a 2 (3) cm de largo por 2 a 2.5 mm de diámetro, divergentes a algo ascendentes, sobre pedicelos del mismo largo que las silículas. La raíz es fibrosa.



Figura 5: Grabado de la planta del berro. (www.pfaf.org)

Propiedades y usos del berro

Contiene vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, B17, C, D, E y K. También cuenta con minerales como calcio, fósforo, potasio, hierro, sodio, magnesio, cobre, manganeso, flúor, azufre, cloro, yodo, germanio, silicio y zinc.

Tabla 1: Contenido en vitaminas y minerales de diferentes vegetales y su cantidad diaria recomendada en 100g. (Fuente: : www.watercress.com)

Especies	VITAMINAS (CDR)					MINERALES (CDR)		
	K (330 µg)	A (3000 IU)	B1 (1,5 mg)	B3 (1,6 mg)	C (75 mg)	K (330 mg)	Fe (12 mg)	Ca (1000 mg)
BERRO	541	4530	0,08	0,169	65,6	330	1,8	300
Espárrago	122	1000	0,16	0,17	33	---	---	21
Brócoli	180	1500	0,09	0,21	118	325	1,3	130
Zanahoria	---	13000	0,07	0,06	52	---	0,8	39
Lechuga	35	1620	0,07	0,07	8	290	1,1	62
Pepino	---	360	0,04	0,09	8	---	0,3	10

A menudo se utiliza como antibiótico, antibacteriano, diurético, expectorante, digestivo, antiséptico, antioxidante y tónico. También se usa popularmente como hierba terapéutica para aliviar problemas como tos, resfriados, afecciones bronquiales, tuberculosis, asma, enfisema, estrés, dolor, artritis, espalda recta, diabetes, anemia, estreñimiento, cataratas, ceguera nocturna, leucemia, cáncer, hemorragias, enfermedades del corazón, eczema, sarna, edema, sangrado de las encías, indigestión, alcoholismo, parásitos intestinales, circulación, menstruación lenta, falta de energía, cálculos de riñón y vesícula, enfermedades del bazo, tiroides, hígado, para normalizar el colesterol y la presión arterial, mejorar la memoria, para la disminución de la función mental, para retardar el envejecimiento, los fallos o escasa producción de leche de las

madres lactantes, para regular el flujo de bilis, mejorar la salud de las glándulas y las funciones del metabolismo del cuerpo.

Contiene más azufre que cualquier otra verdura, a excepción del rábano picante. El azufre ayuda a la absorción de proteínas, purifica la sangre, ayuda en la creación de nuevas células y ayuda a tener un cabello y una piel sanos.

El consumo de berro puede disminuir el colesterol, se ha conseguido disminuir los triglicéridos y las lipoproteínas de baja densidad (LDL-C), esta cualidad se le atribuye debido a su gran potencial antioxidante (Yazdanparast et al., 2008)

Además, otro efecto positivo del berro en la salud humana es que, al igual que todas las Brassicas, es rico en glucosinolatos. Los glucosinolatos son unos glucósidos que contienen azufre y que pueden ser hidrolizados, de forma enzimática o no, dando lugar a isocianatos y/o nitrilos. Los isocianatos son muy importantes ya que son los principales inductores de enzimas de desintoxicación de carcinógenos (Williams et al., 2009). Uno de los dos inductores más potentes podemos encontrarlo en el berro, es el denominado 2-fenetilglucosinolato, PEITC o también conocido como gluconasturtiin.

Por contra, el berro, como planta acuática, es capaz de acumular metales pesados como el zinc y el cobre, pudiendo llegar a acumular elevados niveles de ambos elementos y en una proporción menor al níquel (Kara, 2006). También es capaz de acumular grandes cantidades arsénico en las hojas, este compuesto inorgánico se utilizaba, en la industria y la agricultura y se podía encontrar en distintos estados de oxidación en el agua (Ozturk et al., 2010), aunque en la actualidad su uso ha desaparecido en beneficio de nuevos compuestos orgánicos.

El sistema de riego en bandejas flotantes (*Floating System*)

La hidroponía hace referencia a los cultivos realizados en el agua y fue inventada por W.F. Gericke en 1937. En la actualidad el interés por la utilización de esta tecnología se ha expandido por todo el mundo, desde los países más desarrollados para la producción de hortalizas con elevado valor añadido, a países del Tercer Mundo, por su capacidad para adaptarse a las diferentes realidades socioeconómicas.

Los sistemas de cultivo sin suelo permiten la producción de hojas limpias, facilitando y acortando el manejo de postcosecha en las industrias de procesado, y controlando los factores de crecimiento (Fontana et al., 2003)



Figura 6: Cultivo de bandejas flotantes.

El *Floating System* es un sistema de riego basado en un conjunto de bandejas que flotan sobre una lámina de agua o solución nutritiva de unos 5 a 10 cm de altura. Utilizado en la horticultura italiana presenta grandes ventajas en cultivos protegidos. Esta técnica de cultivo permite reducir los ciclos de cultivo con respecto al cultivo en suelo, siendo una técnica muy interesante por su bajo coste de instalación y de mano de

obra, ausencia de malas hierbas y rapidez en el momento de la recolección. La posibilidad de programar cada una de las fases del cultivo permite obtener una producción continua durante todo el año (Cros et al., 2003).

Los ciclos de cultivo varían su duración en función de la especie y la época del año, pudiendo cosechar, en ciclo de invierno, colleja en 56 días (Conesa et al., 2009) o, en ciclo de verano, verdolaga en 20 días (Fernández et al., 2007)

Las bandejas flotantes permiten un cultivo de gran densidad de plantas y la obtención de una abundante cosecha, así como evitar las pérdidas por evaporación, un uso eficiente de fertilizantes, la rápida corrección de deficiencias nutricionales y el control de parámetros importantes como los nitratos que tienden a acumularse en algunas especies como *Eruca vesicaria* (Santamaria et al., 1997) y que mediante esta técnica es posible reducirlos con éxito. Esta técnica de cultivo presenta un uso muy eficiente del agua dentro del invernadero (Galloway et al., 1996).

Además, la difusión de enfermedades fúngicas de las hojas son prácticamente nulas por la falta total de humedad de las hojas y el producto terminado (hortalizas de hojas) resulta limpio y listo para el embolsado y la venta.

En la actualidad el uso de este sistema va desde la producción de plántulas para su posterior trasplante hasta la producción de hortalizas de gran tamaño.



Figura 7: Lechugas iceberg en bandejas flotantes. (Fuente: www.freshplaza.es)

Los elementos esenciales de estos sistemas son las bandejas de poliestireno expandido u otro material de bajo peso volumétrico e hidrófugo, así como las bancadas de cultivo cerradas para contener el agua y los fertilizantes, con una profundidad de 10-25 cm.

Un tipo de bandeja muy utilizado es el “styrofloat” (Figura), donde los comunes alveolos han sido sustituidos por fisuras tronco-cónicas de muy poco volumen, que limitan al máximo la utilización del sustrato, únicamente el necesario para soportar la semilla.

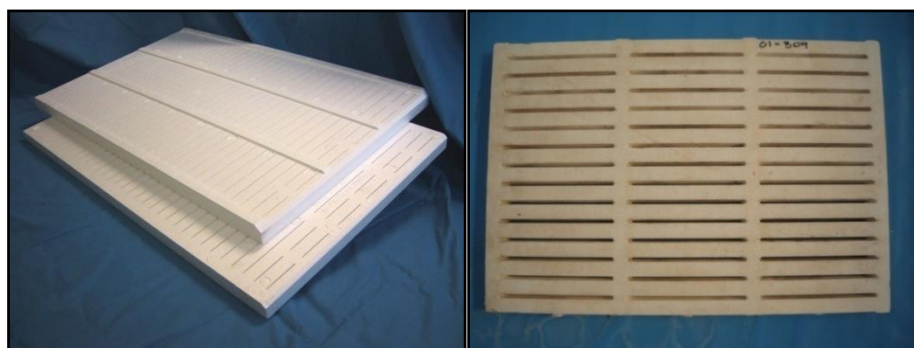


Figura 8: Bandeja Eurofloat (EUROPAK S.p.A.) y bandeja adaptada para las distintas experiencias.

Aireación de la solución nutritiva

Al igual que en otros sistemas hidropónicos, las plantas que crecen en un sistema de flotación pueden sufrir hipoxia porque las raíces consumen gradualmente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva. Por ello para garantizar la funcionalidad de la raíz es necesario mantener una concentración adecuada de oxígeno en la zona radicular, ya que la falta de oxígeno reduce la absorción de agua y minerales por la planta, lo que puede limitar el crecimiento y, en consecuencia, el rendimiento del cultivo (Tesi et al., 2003a).



Figura 9: Bandeja por la parte inferior con raíces.

Para evitar las repercusiones negativas sobre el rendimiento, los productores airean la solución nutritiva para enriquecerla en oxígeno. Existen diferencias significativas en la sensibilidad a la deficiencia de oxígeno en el medio de radical entre especies e incluso entre los cultivares (Visser et al., 2000). Esto se debe a que en algunas plantas, a bajas concentraciones de oxígeno, pueden dar lugar a adaptaciones anatómicas y morfológicas que facilitan el transporte de oxígeno hacia las raíces.

Momento de la recolección

Con la cosecha se pone fin al cultivo y se inicia la preparación o acondicionamiento para el mercado. Elegir el momento de la recolección es relativamente complejo puesto que se deben considerar tanto el estado fisiológico de las plantas como aquellos factores productivos y comerciales. De forma tradicional del berro se consumen los 8 últimos cm aproximadamente en forma de manojos.

A todo esto se le suma que cada especie responde de forma diferente en el momento de la recolección y que éste puede influir en la concentración de compuestos químicos. Palaniswamy et al. (2004) demostraron que el momento de la cosecha puede influir en las concentraciones de ácido oxálico en verdolaga.

En el caso del berro también podría influir en la calidad visual del producto por el crecimiento de raíces adventicias al ir desarrollándose la planta en un cultivo hidropónico con limitaciones de oxígeno radical.

Objetivo

El objetivo de esta investigación fue estudiar los efectos de diferentes niveles de aireación [sin aireación (NA), baja aireación (LA) y alta aireación (HA)] de la solución nutritiva en dos momentos de recolección (38 y 45 días después de la siembra) en la producción y calidad de berro cultivado en un sistema de bandejas flotantes y en toda su vida útil como un producto de IV Gama.

MATERIAL Y MÉTODOS

Producción

Generales del cultivo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agroalimentaria “Finca Tomás Ferro” de la UPCT ubicada en La Palma (Cartagena). La variedad de berro ensayada fue “Large leaf” de la casa de semillas Tozer Seeds. La siembra se realizó el 2 de Diciembre de 2011 y las recolecciones se realizaron el 9 y el 16 de enero, 38 y 45 días después de la siembra (dds), respectivamente.

Acondicionamiento de las instalaciones

Antes de comenzar con las experiencias se procedió a la limpieza y acondicionamiento de los materiales y las instalaciones utilizadas.

En primer lugar se realizó la desinfección y limpieza de elementos primordiales como son las bandejas *styrofloat*, las mesas de flotación (Figura 10) y los bidones donde se prepararía la solución nutritiva.

Tras esto, se comprobaron todos aquellos mecanismos de bombeo, así como los *datalogger* utilizados en la adquisición de datos ambientales.

El sistema de aireación de la solución nutritiva fue mediante una bomba de agitación y una red de tuberías de pvc que llegan a cada una de las mesas, una vez en las mesas unos tubos de pvc perforados permiten que las inyecciones de aire se repartan uniformemente por toda la mesa (Figura 10).



Figura 10: Mesas de flotación con tubos de pvc.

Para la preparación de la solución nutritiva se utilizaron bidones de 100 L y bombas Decor 12 (ESPA) para introducirla en las mesas (Figura 11).

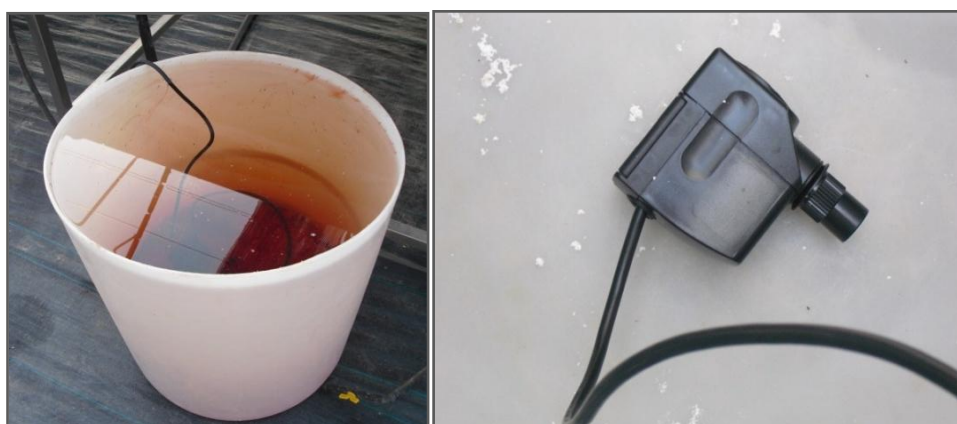


Figura 1: Bidón con solución nutritiva en preparación y bomba Decor 12.

Para el registro de las variables ambientales se utilizó el datalogger es CR1000 (Campbell Scientific) , al cual se le conectaron sondas que midieron la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar, el oxígeno disuelto en agua, la conductividad eléctrica y la temperatura de la solución (Figura 22).



Figura 22: Datalogger CR1000.

Siembra y manejo del cultivo

La siembra de las distintas especies y variedades se realizó a mano, estimando el número de semillas por fisura. Los materiales utilizados fueron:

Bandejas styrofloat. Son bandejas de poliestireno expandido fabricadas por Europak s.p.a., que poseen unas fisuras de 17,1x0,25 cm de forma troncocónica con unas dimensiones de 96x60x3,5 cm y el número de fisuras por bandeja es de 34x3 filas, que se adaptan a las mesa de flotación dividiéndolas en dos para dar lugar a dos bandejas de 60x41 cm y un trozo sobrante.

Turba. El sustrato utilizado era una mezcla equilibrada de turba rubia y negra de la marca Floragard denominada Substrato comercial tipo S, que se introdujo en las fisuras de forma manual presionando y distribuyéndola bien por toda la superficie. Seguidamente se utilizaron unos utensilios circulares y planos para comprimir la turba.

Tras la siembra las bandejas se acomodaron en una cámara climática (Fitotron de Sanyo) (Figura 33) con condiciones ambientales de 21⁰ C, 90% de humedad relativa y en oscuridad durante 3 días.



Figura 33: Bandejas en el interior de la cámara climática y exterior cámara climática.

Seguidamente se transportaron, hasta el invernadero donde, a priori, se había procedido al llenado de las mesas con agua.

Una vez allí se depositaron las bandejas en las mesas de flotación y se dejaron en esas condiciones varios días hasta que las plantas experimentaron cierto desarrollo.

Cuando las plantas tuvieron entre 2 y 3 hojas (aproximadamente 7 días después) se suministró la solución nutritiva formada por elementos compuestos comerciales, previamente estudiados y calculados y que se pesaron y añadieron al agua en el mismo invernadero. La solución nutritiva para ambos ensayos estuvo compuesta por agua fresca desde la colocación de las bandejas en las mesas de cultivo hasta 14 (dds). A partir de esta fecha y hasta el final del cultivo se empleó una solución nutritiva con un pH: 5,8 y una CE: 2,8 dS/m, conteniendo los siguientes elementos en $\mu\text{mol/L}$: NO_3^- , 7200; NH_4^+ , 4800; H_2PO_4^- , 2000; K^+ , 6000; Mg^{2+} , 1500; Ca^{2+} , 2000. A esta solución se le añadió una mezcla comercial de microelementos a una concentración de 0,02 g/L y un quelato de Fe a una concentración de 0,02 g/L.

Además a la solución nutritiva se le midió la salinidad mediante un conductivímetro modelo 524 de la marca CRISON y el pH mediante un pHmetro Ecotester (Oakton). El pH se corrigió con ácido sulfúrico al 95% hasta 5,8.

Una vez que la solución nutritiva se adaptó a las necesidades del cultivo se acoplaron los sistemas de bombeo de aire, para la oxigenación de la solución y se cubrieron los huecos con trozos sobrantes de bandejas para evitar el desarrollo de algas. El sistema de aireación insufló aire durante treinta segundos cada cuatro minutos permitiendo la renovación del oxígeno disuelto en la solución nutritiva durante todo el ciclo de cultivo. Para conseguir los tratamientos de aireación ensayados: no aeración (NA), baja (BA) y alta (AA), se utilizaron tuberías perforadas con 0, 6 y 36 agujeros por m^{-2} , respectivamente.

Condiciones climáticas durante el cultivo.

Las temperaturas medias, máximas y mínimas diarias para ambos periodos de tiempo fueron de 15,05, 18,32 y 11,77 °C para la 1ª recolección y de 14,73, 18,32 y 10,61 °C para el periodo comprendido hasta la segunda recolección.

La luz diaria integrada (DLI) es la cantidad de PAR recibida cada día como función de la intensidad de luz (luz instantánea: $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y duración (día o 24 horas). Esta unidad se expresa en moles de luz (mol) por metro cuadrado (m^{-2}) por día (d^{-1}), o: $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (moles por día). Para nuestro ensayo la DLI del primer periodo fue de 6,61 y la del segundo periodo fue de 5,99 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

La humedad relativa media, máxima y mínima diaria para la primera parte del cultivo fue de 64,47, 75,35 y 37,48 y de 65,17, 75,35 y de 37,48 para el periodo completo hasta la segunda recolección.

El pH medio inicial de la solución nutritiva fue de 5,78, al final del primer tramo del ensayo fue de 5,11 y para el segundo fue de 4,91.

Con respecto a la conductividad eléctrica de la solución nutritiva al inicio fue de 2,5, al final del cultivo en la primera parte fue de 4,11 y en la segunda de 4,25.

Recolección y toma de datos

La recolecciones se realizaron a los 38 y 45 dds cuando las plantas alcanzaron un tamaño comercial. Se llevó a cabo sacando a mano dos fisuras de cada tratamiento. Las plantas, con raíz incluida, se separaron por repeticiones y se transportaron al laboratorio donde se separó la parte aérea y la radical para facilitar el manejo.

Los datos que se tomaron en el laboratorio fueron:

- Peso fresco; la medida se toma pesando una fisura completa libre de raíces.
- Área foliar; medida tomada con un medidor de área foliar modelo LI-3100C (LI-COR) (Figura 44) hoja por hoja de cada repetición.
- Peso seco: las plantas se introdujeron en una estufa a 50°C hasta eliminar el contenido de agua de las plantas y se pesaron utilizando una balanza de precisión.
- Medida de raíces; de donde se obtuvo información de la longitud, el diámetro medio y las distintas longitudes de cada diámetro, gracias al programa WinRhizo y mediante el escaneado de raíces con el escáner Expression de la marca Epson.
- Medida de raíces adventicias; se contó el número de axilas con raíces por planta y el número de grupos de raíces mayores de 1cm de longitud.



Figura 44. Medidor de área foliar Licor.

Crecimiento y rendimiento

Los parámetros medidos el día de la recolección fueron el peso fresco y el área foliar, días después se obtuvo el peso seco y con esos valores se calculan los índices que aparecen en la Tabla 3.

Área foliar específica (SLA)

El área foliar específica (SLA) se obtuvo de la fórmula:

$$SLA = \frac{\text{Área foliar por planta (m}^2\text{)}}{\text{Peso foliar por planta (kg)}}$$

Materia seca

La materia seca se obtuvo de la relación entre el peso fresco, obtenido inmediatamente después de ser recolectada la planta, y el peso seco.

Producción

El término producción se obtuvo de relacionar el peso fresco con la superficie cultivada.

Postcosecha

Generales del almacenamiento

Las plantas cosechadas se colocaron en bolsas de plástico y de inmediato se transportaron a unos 6 kilómetros al Instituto de Biotecnología Vegetal de la UPCT en un caja portátil con hielo, donde se almacenaron durante 4 horas a 5 ° C. Pasado este tiempo, ya en la antecámara a 10 °C, se desinfectaron todas las hojas libres de defectos mediante lavados de 2 minutos de duración con una solución de hipoclorito sódico (100 ppm) y ácido cítrico (0,2 g L⁻¹) (pH 6,5) a 5 ° C. Después de esto se lavaron durante 2 minutos en agua a la misma temperatura con el fin de eliminar los residuos de NaOCl, El exceso de agua superficial se eliminó mediante el uso de una centrifugadora manual durante 30 segundos (Figura 55).



Figura 55: Selladora y centrifugadora manual.

A continuación se tomaron 20 g de brotes de cada repetición y tratamiento y se colocaron en barquetas polipropileno (PP) de 1 L de capacidad (Figura 66) , la parte superior de las cuales fueron termoselladas con una película de un espesor de 34 micras compuesta por tereftalato de polietileno (PET) + polipropileno orientado (OPP) y se almacenaron a 5 ° C durante 7 días .La transmisión de O₂ era 1,0-1,2 [ml (m² 24h atm) -1193] medido a 23 ° C y 0 % de humedad relativa , y vapor de agua transmisión fue 1,3 [ml (24 m² atm) -1194] a 38 ° C y 100 % de humedad relativa.

Los valores de permeabilidad fueron suministrados por Plásticos del Segura (Murcia , España). Tanto la temperatura de almacenamiento como el límite máximo recomendado se eligió por ser el más comúnmente usado para vegetales recién cortados a lo largo de su distribución comercial y venta al por menor (Tomás-Callejas et al., 2011).



Figura 66: Barquetas selladas conteniendo las muestras de berro.

Análisis de compuestos

Fenoles totales

La extracción de fitoquímicos se realizó tanto con muestras del día de la recolección como tras el almacenamiento para ambas recolecciones.

A partir de 0,5 g de muestra molida con nitrógeno líquido (3 muestras por repetición) se les añadió 3 mililitros de metanol y se agitaron los viales cada 15 minutos durante una hora. Este procedimiento se realizó con la máxima oscuridad posible debido a que los fenoles se degradan con el contacto de la luz. Pasada la hora, mediante pipetas Pasteur se añadieron estos extractos en Eppendorf de 2 ml, etiquetados anteriormente para facilitar su identificación. Estas muestras se guardaron en el congelador -20°C cubiertas de papel de aluminio para evitar el contacto con la luz. Una vez obtenidos todos los extractos se llevaron los Eppendorf a la centrífuga a 15000 x g y 4°C durante 10 minutos.

Finalizada la centrifugación los sobrenadantes se vertieron en Eppendorf diferentes, debidamente identificados, mediante pipetas Pasteur, dejando en el fondo del Eppendorf las partículas sólidas que son desechadas. Todo esto a resguardo de la luz mediante papel de aluminio y guardados en el congelador de -20°C.

Previamente a la medida de las muestras, se hizo una recta de calibrado o recta patrón con ácido clorogénico. Esta recta se realizó con las siguientes concentraciones: 0, 50, 100, 250, 500 y 750 μM , de una concentración madre de 1 μM del mismo.

A cada Eppendorf de 2 ml con sus correspondientes concentraciones se le añadió:

- 100 μl de la concentración de la recta patrón.

- 150 µl de Folin (diluido 1:1 con agua MiliQ).
- 1000 µl de mezcla (0,4% de NaOH y 2% de Na₂CO₃).

Se deben de agitar y dejarlos reposar durante una hora en un lugar oscuro. posteriormente las muestras se midieron en espectrofotómetro a 750 nm.

Las muestras se trataron de la misma forma:

- 100 µl de muestra.
- 150 µl de Folin (1:1 con agua MiliQ). Disolución en Falcon de 50 ml.
- 1000 µl de mezcla (0,4% de NaOH y 2% de Na₂CO₃). Falcon de 50 ml.

Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido cafeínico por kg de peso fresco (mg CAE/kg PF).

Capacidad antioxidante

La preparación de las muestras se hizo de la misma forma que en el caso de compuestos fenólicos, mediante un extracto metanólico.

Para el análisis de la capacidad antioxidante se utilizó el método del 2,2-difenil -1-picrylhydrazyl (DPPH), desarrollado por BRAND-WILLAM (Cuvelier et al., 1995). Se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH, por la actividad antioxidante.

Para la lectura de la capacidad antioxidante de las muestras o el patrón se puso en una cubeta 150 µl de muestra o patrón y 850 µl disolución diaria de DPPH. Se dejó actuar a la mezcla durante unos 40 minutos en oscuridad a temperatura ambiente y después se leyó en el espectrofotómetro a 515 nm. Se debe cumplir la condición de que las lecturas deben estar en el rango de 1,1 a 0,7-0,6. Si las muestra se aproximan a 1,1

esto indica que tienen un bajo poder antioxidante, y para un mejor resultado debería concentrarse más la muestra y volver a medir. Si, por el contrario, las lecturas son inferiores a 0,7-0,6, indican que la muestra tiene un alto contenido de actividad antioxidante y deben ser diluidas hasta que su lectura entre en dicho rango.

La recta patrón de ácido ascórbico (AA) en MeOH.

El valor de la capacidad antioxidante de la muestra, será el resultado de la diferencia de la absorbancia inicial (1,1) y la absorbancia final o absorbancia leída por muestra. El resultado será la absorbancia real que posee la muestra.

La capacidad antioxidante se expresó en mg equivalentes de ácido ascórbico por kg de peso fresco (mg AAE/kg PF).

Aniones y cationes

Para su determinación se tomaron tres muestras por tratamiento y repetición. Las muestras de las distintas repeticiones se mezclaron a igual peso (material vegetal seco) y se molieron juntas. Cuando quedaron reducidas a un polvo fino se tamizó mediante un tamiz con una luz de 0,5 mm. Los cationes y aniones se extrajeron a partir de 0,2 g de materia seca, para ello se incorporó a la muestra 50 ml de agua destilada y se homogeneizó en un agitador orbital (Stuart SSL1, Stone, UK) durante 45 minutos a 110 rpm y a una temperatura de 27°C.

Posteriormente, se filtraron las muestras como se muestra en la Figura 77 (con doble filtro (DP 145 110)) y se rellenaron tres viales 10 ml de cada muestra, los cuales se congelaron hasta el momento del análisis.

La determinación de las concentraciones de los iones se realizó por cromatografía iónica utilizando una columna Metrosep A Supp 5 (Metrohm AG, Zofingen, Suiza) a una velocidad de flujo de 0,7 ml min⁻¹ para aniones Metrosep C y una columna 2- 250 con un caudal de 1 ml min⁻¹ para cationes, siguiendo las instrucciones del fabricante.



Figura 77:Estructura para la filtración.

Microbiología

Los recuentos microbiológicos se realizaron al término del procesado en el día de la cosecha y al final del almacenamiento para las dos recolecciones. Para ello, se homogeneizaron 10 g de berro con 90 ml de agua peptonada tamponada (Scharlab) y se hicieron diluciones decimales hasta la 10⁻³. Para el recuento de mesófilos se vertió 1 ml de cada dilución en placas, se añadió medio de cultivo "plate count modified agar" (Scharlab) y se incubaron 3 días a 26°C. Para el recuento de psicrófilos se procedió de igual manera que con los mesófilos pero se mantuvieron 10 días a 4°C.

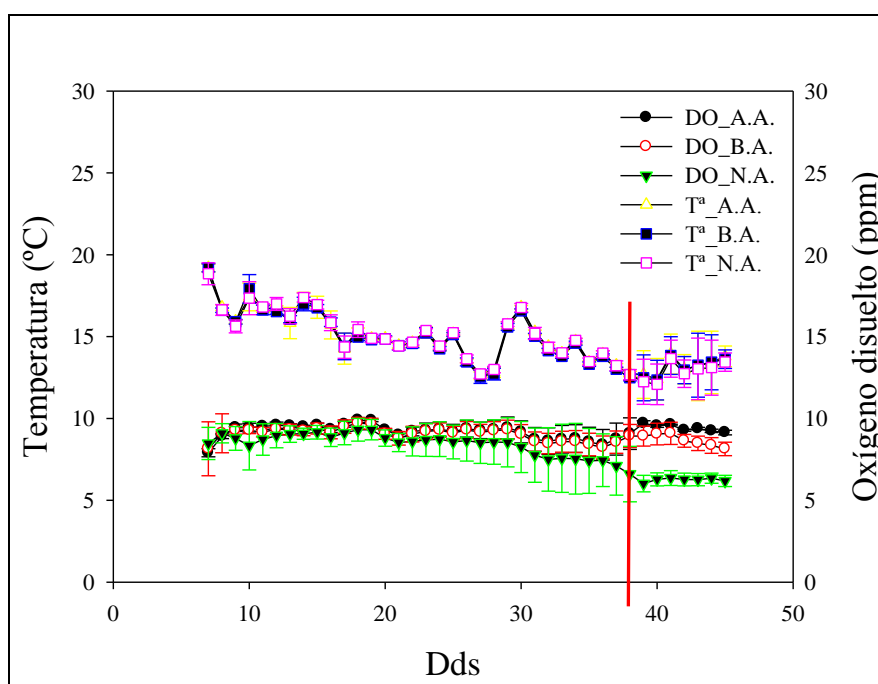
Análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones por nivel de aireación. Los datos fueron analizados mediante el programa Statgraphics Plus. El análisis de la varianza (ANOVA de tres vías) se realizó para los niveles de aireación (NA, BA, AA), los momentos de recolección y el tiempo de almacenamiento (0 y 7 días). Cuando se midieron las variables en el momento de la recolección, se incluyeron sólo dos factores (aireación y momento de la recolección). Cuando las interacciones fueron significativas se incluyó el análisis de la varianza. Se utilizó un test LSD para comparar los niveles de aireación, los momentos de recolección y el tiempo de almacenamiento.

RESULTADOS

Producción

En la Gráfica 1 se muestran los valores medios diarios de oxígeno disuelto (DO) y de temperatura (T^a) de la solución nutritiva para cada uno de los tratamientos de aireación llevados a cabo en el ensayo. La línea roja muestra el final del primer periodo o primera recolección.



Gráfica 1: Evolución del oxígeno disuelto y la temperatura de la solución nutritiva durante el ciclo de cultivo.

En la Gráfica 1 observamos que las temperaturas son muy parecidas durante los dos periodos estudiados y para todos los tratamientos de aireación. En relación con el DO podemos ver que se mantienen concentraciones muy similares durante los 20 primeros días del cultivo y a partir de ahí se van separando mostrando con mayor claridad los tres diferentes tratamientos. Se puede apreciar una mayor separación de los tratamientos al ir acercándonos a la segunda recolección a los 48 días (dds). Al final del primer periodo el

DO medio para cada tratamiento fue de 9,07 ppm para la alta aireación (AA), 8,14 ppm para la baja aireación (BA) y 6,18 ppm para el tratamiento sin aireación (NA). Por otro lado, los mismos datos en el momento de la segunda recolección fueron de 9,14 ppm para AA, 8,14 ppm para BA y de 6,18 ppm para NA.

En la Gráfica 2 se observa el grado de significación de los resultados obtenidos en relación con el factor recolección dando una elevada correlación en el caso de la materia seca y la producción. En el análisis de la interacción (Gráfica 2) entre el tratamiento aplicado al cultivo y el momento de la recolección las diferencias no son significativas.

Tabla 2: Análisis de varianza de los factores.

	SLA	Materia seca	Producción	Long. raíz total	Diámetro raíz	Long/diámetros de 0-0,5
Aireación (A)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Recolección (B)	*	ns	***	ns	*	ns
AxB	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Los resultados obtenidos del análisis estadístico de los parámetros agronómicos no mostraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos aunque fue ligeramente menor en el tratamiento de AA. En el análisis entre las dos recolecciones existen diferencias significativas, resultando con un valor mayor del ratio para las plantas recolectadas en la segunda recolección (Tabla 3).

Tabla 3: Análisis estadístico de los datos agronómicos.

	Aireación			Recolección	
	NA	BA	AA	Primera	Segunda
SLA (m ² /Kg)	9,37	8,35	9,49	9,93 b	8,21 a
Materia seca (%)	4,33	4,07	4,16	4,45	3,93
Producción (Kg/m ²)	5,27	5,80	6,18	3,59 a	7,92 b
Long. raíz tot (m)	1,97	1,85	1,73	1,95	1,75
Diámetro raíz (mm)	0,19	0,20	0,19	0,20 b	0,19 a
Long por diám. de 0-0,5 (m)	1,88	1,79	1,69	1,88	1,70

No existieron diferencias significativas entre los tratamientos de aireación pero sí entre las recolecciones en materia seca y SLA, reflejando que el porcentaje de materia seca fue menor para la primera recolección (Tabla).

Para intentar obtener más información sobre el comportamiento de cultivo ante los diferentes parámetros se realizó un análisis de las posibles interacciones entre las dos variables, para nuestro ensayo, tratamiento y recolección.

Se observó que la producción fue significativamente mayor en el momento de la segunda recolección que en la primera. En el caso de los tratamientos de aireación no hubo diferencias significativas (Tabla 3).

Con respecto al análisis de la raíz, de los tres parámetros mostrados sólo presentaron diferencias significativas los diámetros medios de raíz entre la 1^a y 2^a recolección, dando los diámetros menores en las plantas de la segunda recolección (Tabla 3).

Durante el análisis de las características agronómicas de las muestras de berro en la segunda recolección se observó el desarrollo de raíces adventicias y se pudo determinar un mayor crecimiento en el tratamiento de NA. Se vio cómo el desarrollo de las raíces

adventicias fue significativamente diferente tanto en el número de axilas con raíces por planta como en el número de grupos de raíces mayores de 1cm de longitud.

Tabla 4: Análisis de raíces adventicias para la segunda recolección.

Tratamiento	Número de axilas con raíces	Grupos de raíces >1cm
NA	4,44 b	1,67 b
BA	2,67 a	0,89 a
AA	2,89 a	0,89 a
P-val	0,022	0,0226

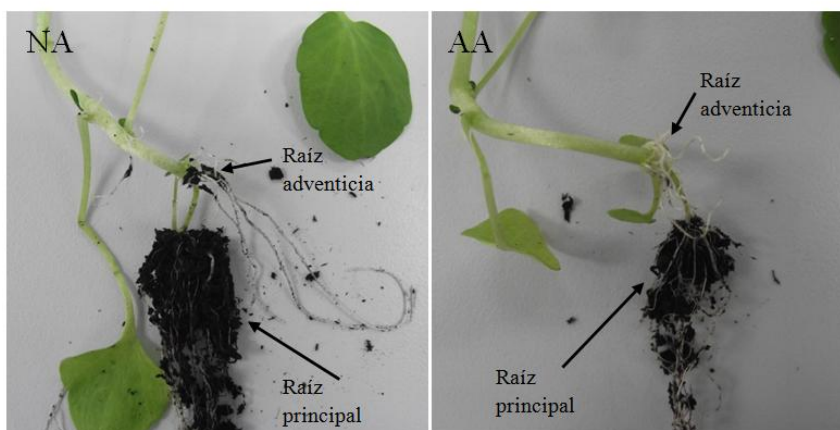
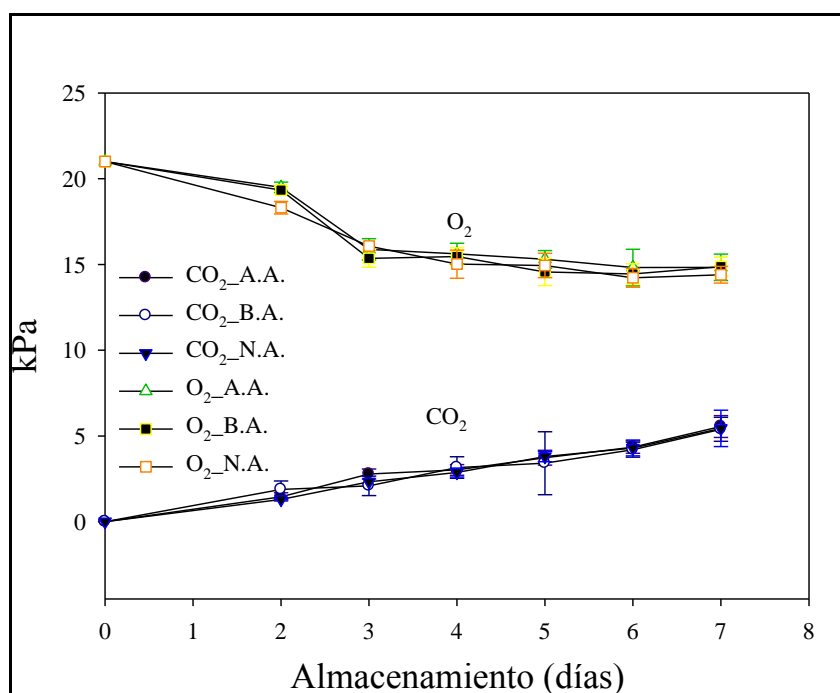


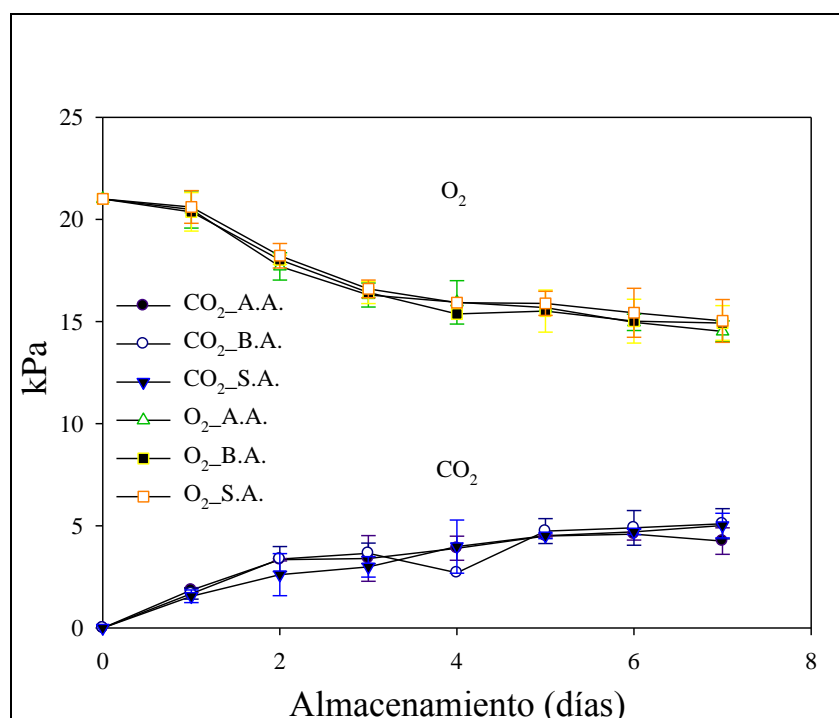
Figura 18: Detalle de raíces adventicias en los tratamientos de NA y AA.

Postcosecha

La Gráfica 2 y la Gráfica 3 muestran las variaciones de las presiones parciales de O_2 y CO_2 en el interior de las barquetas durante el periodo de almacenamiento para cada una de las recolecciones realizadas y según los tratamientos de aireación. Para las dos recolecciones se observó un comportamiento similar, un descenso rápido del O_2 y un ascenso del CO_2 en los primeros días, y una estabilización de la atmósfera de las barquetas al final del tiempo de almacenamiento a $5^\circ C$, quedando el O_2 en valores cercanos a 15kPa y el CO_2 en 5kPa en ambos casos.



Gráfica 2: Evolución de las presiones parciales de O_2 y CO_2 en el interior de las barquetas de berro procedentes de la primera recolección.



Gráfica 3: Evolución de las presiones parciales de O₂ y CO₂ en el interior de las barquetas de berro procedentes de la segunda recolección.

La Tabla 5 muestra diferencias significativas para todos los parámetros y para todas las características del ensayo. Entre el momento de la recolección y el final del almacenaje, se encontraron diferencias significativas observando los mayores valores en el momento de la recolección en fenoles totales, nitratos, oxalatos, calcio, potasio, mesófilos y psicrófilos. Sólo en el caso de los antioxidantes el valor mayor se dio en las muestras del final de almacenamiento.

Entre las dos recolecciones hubo diferencias significativas para todos los parámetros medidos. Los valores de fenoles totales, nitratos, oxalatos, calcio, potasio, mesófilos y psicrófilos aumentaron al dejar más tiempo la planta en cultivo, mientras que la capacidad antioxidante disminuyó al pasar 7 días más en las mesas de cultivo.

Todos los parámetros, excepto el potasio, mostraron diferencias significativas ante los distintos tratamientos de aireación. Los fenoles totales y la capacidad antioxidante se

comportaron igual, presentando los valores más elevados en el tratamiento de alta aireación y el de menor valor en el tratamiento de baja aireación. Nitratos y calcio mostraron diferencias significativas del tratamiento de alta aireación con el de no aireación pero estos a su vez no eran diferentes del tratamiento de baja aireación. Los oxalatos y psicrófilos se comportaron de la misma manera en los tratamientos baja y no aireación siendo significativamente diferentes del tratamiento AA que obtuvo el mayor valor. Por último, los mesófilos tuvieron un comportamiento significativamente diferente entre el tratamiento de NA y los otros dos tratamientos.

Tabla 5: Estadística de los parámetros medidos a 0 y 7 días de almacenamiento a 5°C.

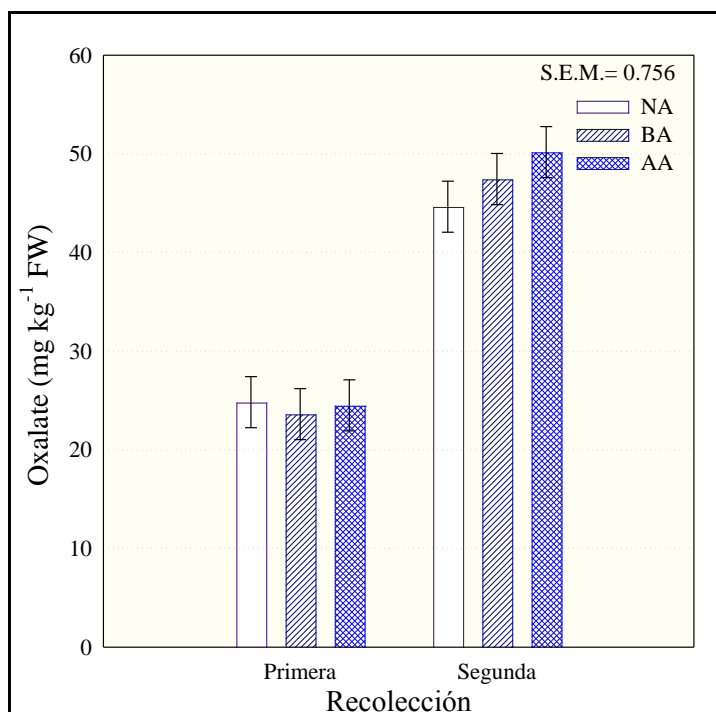
	0	7	Primera	Segunda	NA	BA	AA
Fenoles totales (mg CAE kg ⁻¹ FW)	101,0 b	93,2 a	84,5 a	109,6 b	91,6 a	97,3 b	102,9 c
C. antiox (mg AAE kg ⁻¹ FW)	496,5 a	756,6 b	662,8 b	590,3 a	570,7 a	633,4b	675,6 c
Nitratos (mg kg ⁻¹ FW)	1287,5 b	1026,1 a	811,0 a	1502,5 b	1085,3 a	1161,1 ab	1223,8 b
Oxalatos (mg kg ⁻¹ FW)	40,4 b	31,3 a	24,3 a	47,4 b	34,7 a	35,5 a	37,3 b
Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹ FW)	282,4 b	203,9 a	163,8 a	322,5 b	228,6 a	244,0 ab	256,8 b
K ⁺ (mg kg ⁻¹ FW)	1877,7 b	1392,0 a	1195,6 a	2074,1 b	1570,9	1613,7	1719,8
Mesófilos (log UFC g ⁻¹)	4,4 a	5,7 b	5,1	4,9	4,4 a	5,3 b	5,4 b
Psicrófilos (log UFC g ⁻¹)	3,3 a	5,7 b	3,5 a	5,6 b	4,2 a	4,4 a	5,1 b

Tabla 6: Análisis estadístico de los compuestos medidos a 0 y 7 días de almacenamiento a 5°C en el ensayo, teniendo en cuenta tres factores: tratamiento de aireación (NA, BA y AA), momento de la recolección (1ª y 2ª) y tiempo de almacenaje a 5°C (0 y 7 días).

	Df	Fenoles tot. (mg CAE kg ⁻¹ FW)	C. antiox. (mg AAE kg ⁻¹ FW)	Nitratos (mg kg ⁻¹ FW)	Oxalatos (mg kg ⁻¹ FW)	Ca ⁺² (mg kg ⁻¹ FW)	K ⁺ (mg kg ⁻¹ FW)	Df	Mesófilos (log UFC g ⁻¹)	Psicrófilos (log UFC g ⁻¹)
Tiempo (A)	1	***	***	***	***	***	***	1	***	***
Recolección (B)	1	***	**	***	***	***	***	1	ns	***
Aireación (C)	2	***	**	ns	*	*	ns	2	***	**
AxB	1	***	***	ns	ns	**	ns	1	***	*
AxC	2	***	ns	ns	ns	ns	*	2	*	ns
BxC	2	***	***	ns	*	ns	ns	2	ns	*
AxBxC	2	***	**	ns	ns	ns	ns	2	ns	ns
Residual	24	56,81	42,46	23,3	22,45	11,62	14,72	58	18,41	11,23

El análisis estadístico de los parámetros medidos después de 7 días de almacenaje a 5°C se muestra en la Tabla 6; en ella cabe destacar las dos interacciones triples entre los fenoles totales y la capacidad antioxidante con los tres factores del ensayo (analizadas con más detalle en las Tabla 7 y Tabla 8). Además se encontró relación entre el momento de la recolección y los tratamientos para los oxalatos y psicrófilos, entre el tiempo de almacenaje y la recolección para calcio, mesófilos y psicrófilos; y entre el momento de la recolección y los tratamientos de aireación para potasio y mesófilos. Todas estas interacciones se detallan en las Gráficas 4 a 8.

En la Gráfica 4 se aprecia como los oxalatos fueron significativamente menores en la primera recolección en comparación con la segunda recolección. Además se muestran diferencias significativas entre los tratamiento de NA y AA de la segunda recolección.

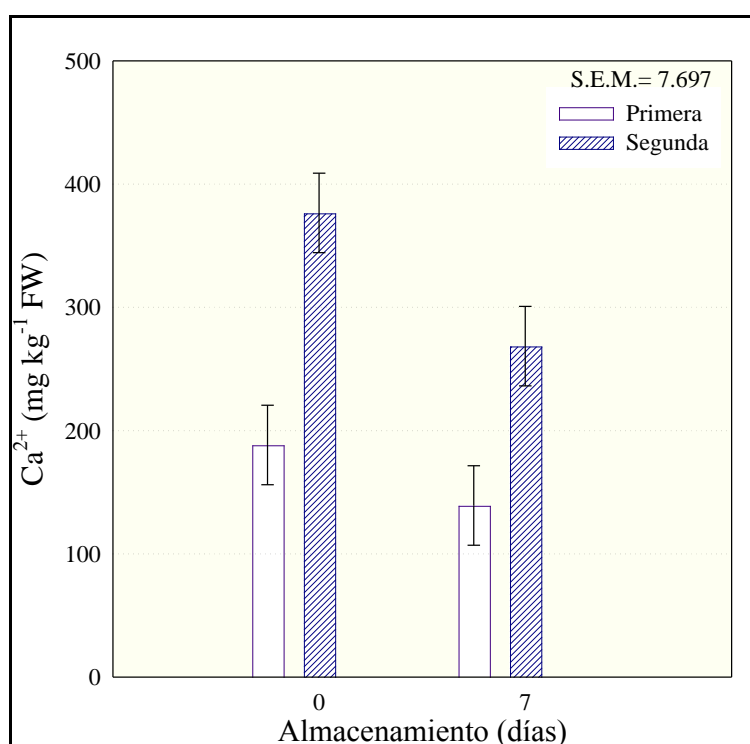


Gráfica 4: Interacción entre el momento de la recolección y los tratamientos de aireación en relación con los oxalatos.

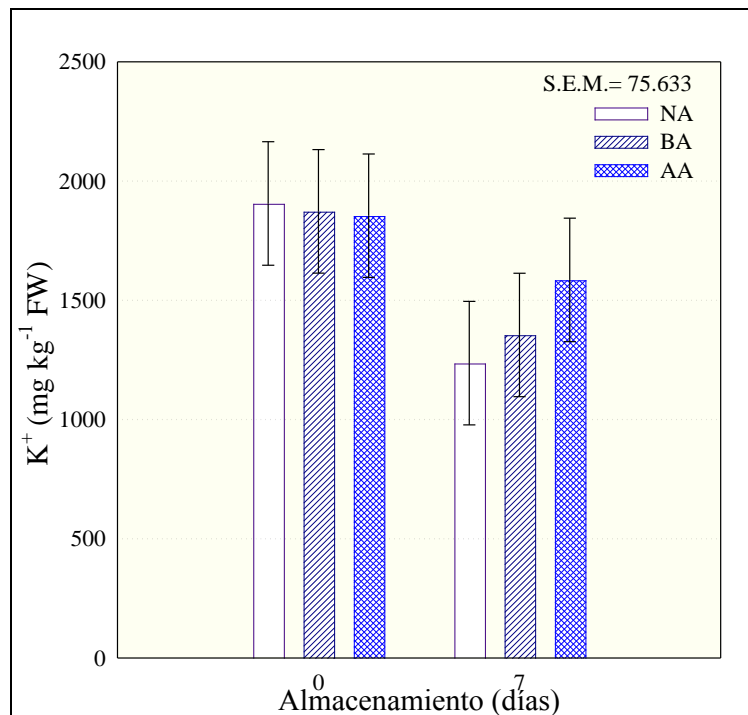
En la Gráfica 5 podemos observar como el calcio se vio afectado significativamente por el periodo de almacenamiento en la segunda recolección, se observa como el calcio descendió más acusadamente durante el almacenamiento en el ciclo más largo.

La Gráfica 6 muestra cómo descendió el potasio de manera significativa en los tratamientos NA y BA a los 7 días de almacenaje a 5°C. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos a los 0 y 7 días.

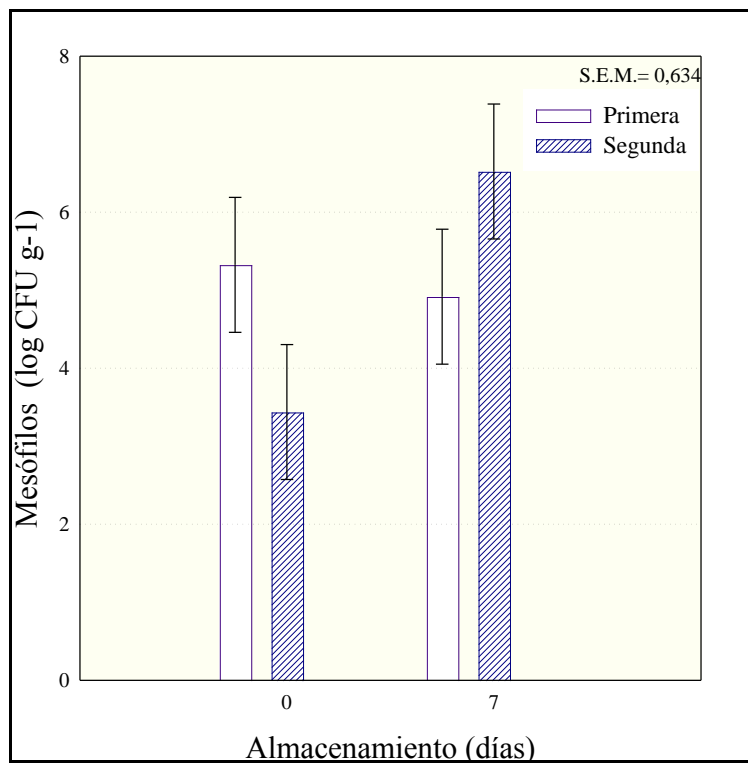
La Gráfica 7 detalla el aumento que tuvieron los microorganismos mesófilos tras el periodo de almacenamiento en la segunda recolección, cómo hubo diferencias significativas entre el número de ufc de la 1ª y 2ª recolección en el día de la recolección.



Gráfica 5: Interacción entre el tiempo de almacenamiento y el momento de la recolección para el calcio.

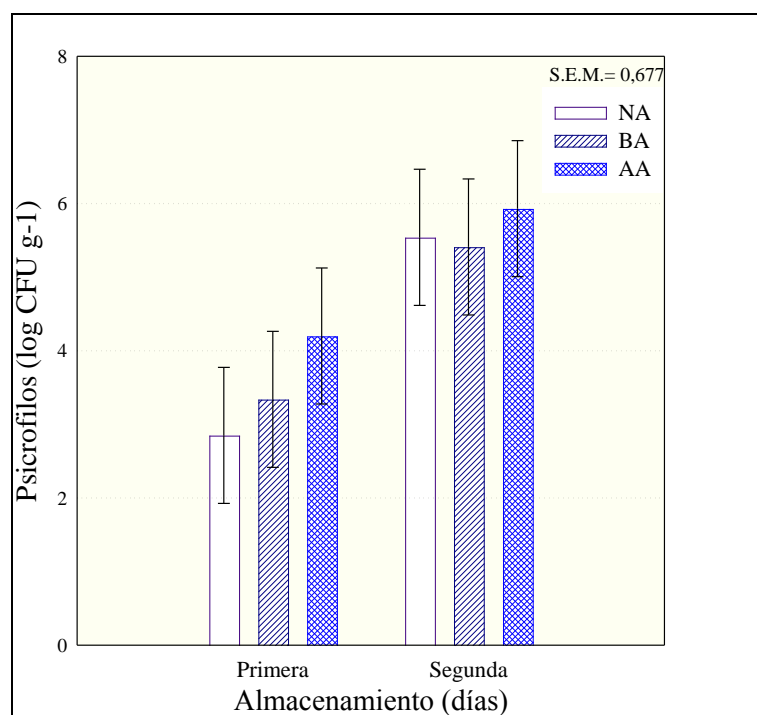


Gráfica 6: Interacción entre el tiempo de almacenamiento y los tratamientos de aireación para el potasio.



Gráfica 7: Interacción entre el tiempo de almacenamiento y el momento de la recolección para los microorganismos mesófilos.

La Gráfica 8 muestra un aumento de las ufc de microorganismos psicrófilos entre la 1ª y la 2ª recolección con diferencias significativas entre los tratamientos NA y BA de la 1ª recolección con los tres tratamientos de aireación de la 2ª recolección.



Gráfica 8: Interacción entre el momento de la recolección y los tratamientos de aireación para los microorganismos psicrófilos.

El desglose de la triple interacción para los fenoles totales se refleja en la Tabla 7, donde se observa que en la 1ª recolección el tratamiento con mayor valor fue el de NA y el de menor valor el de AA. En el intervalo hasta la 2ª recolección las plantas aumentaron el contenido en fenoles totales pero la tendencia cambió dando el mayor valor para el tratamiento de AA y el menor para el de NA. Entre el momento de recolección y el final del periodo de almacenamiento a 5°C aumentaron los fenoles de la 1ª recolección y la tendencia se mantuvo dando el mayor valor para NA y el menor para AA para los días 0 y 7. En la 2ª recolección el comportamiento a 0 y 7 días fue contrario

al de la 1ª recolección dado que los valores más altos se dieron en el tratamiento AA y los más bajos en el NA. Además, el contenido en fenoles totales disminuyó para todos los tratamientos durante el periodo de almacenaje.

En la Tabla 8 se observa como la capacidad antioxidante de las hojas de berro disminuyó con la aireación, aumentó con la postcosecha y vio invertido su comportamiento entre la 1ª y la 2ª recolección. En la 1ª recolección los valores más altos se dieron en el tratamiento de NA y los más bajos en el de AA tanto a los 0 como a los 7 días. Para la 2ª recolección los mayores valores se obtuvieron en AA y los menores en NA tanto para el momento de la recolección como 7 días después del almacenaje.

Tabla 7: Interacción triple (tratamiento de aireación (NA, BA y AA), momento de la recolección (1ª y 2ª) y tiempo de almacenaje a 5°C (0 y 7 días)) de los tres factores con relación a los fenoles totales.

Fenoles totales	Primera recolección			Segunda recolección		
	NA	BA	AA	NA	BA	AA
0	74,13	62,49	57,25	128,06	134,78	149,48
7	107,69	112,70	92,93	54,31	79,25	112,09
	S.E.M.= 2,19			L.S.D.= 4,48		

Tabla 8: Interacción triple entre los tres factores (tratamiento de aireación (NA, BA y AA), momento de la recolección (1ª y 2ª) y tiempo de almacenaje a 5°C (0 y 7 días)) con relación a la capacidad antioxidante.

Cap. Antioxidante	Primera recolección			Segunda recolección		
	NA	BA	AA	NA	BA	AA
0	354,12	240,67	207,55	584,26	754,72	837,98
7	1109,02	1119,44	946,26	235,30	418,98	710,60
	S.E.M.= 28,88			L.S.D.= 69,88		

DISCUSIÓN

Producción

Existen ciertas especies que son tolerantes a la falta de oxígeno en la zona radicular y que son capaces de desarrollar rasgos morfológicos y alterar su metabolismo en respuesta a la escasez de oxígeno (Fukao y Bailey - Serres, 2004). El berro es una planta semiacuática, con adaptaciones especiales que facilitan el transporte de oxígeno cuando las raíces se encuentran en anoxia, en particular, son capaces de desarrollar raíces adventicias en cada uno de los nudos del tallo, iniciándose en los nudos más bajos (Figura 18). La sustitución parcial de la función del sistema de la raíz original permite mantener el crecimiento normal de la planta. Aunque esto puede ser una ventaja para el cultivo en estas condiciones, la aparición de estas raíces hace disminuir el valor de mercado (Smith, 2007). En este estudio, el agotamiento del oxígeno no afectó al desarrollo de las raíces (Tabla 3) pero promovió el número de nudos con raíces adventicias de más de 1 cm (Tabla 4).

Going et al. (2008) demostraron que el SLA de berros disminuyó linealmente a lo largo de un gradiente de aumento de los niveles de luz y que dio lugar al desarrollo de hojas más delgadas en condiciones de poca luz. En nuestro ensayo la variación del DLI, de 6,61 hasta el primer corte y de 5,99 hasta el segundo corte, fue muy leve pero pudo afectar al SLA aumentando su valor al disminuir la DLI hasta que se realizó la segunda recolección y, por tanto dando lugar a hojas más gruesas. Los tratamientos de aireación no tuvieron efecto sobre este parámetro (Tabla 3).

El hecho de mostrar diferencias significativas en el contenido en materia seca entre los dos momentos de recolección en el cultivo del berro (Tabla 3), nos hace entender, que el aprovechamiento de la radiación solar incidente, su capacidad para interceptarla y la eficiencia del cultivo para transformarla fue superior en plantas más desarrolladas (segunda recolección), ya que todos estos factores están estrechamente vinculados con la producción de materia seca (Andrade et al., 1996). Además, este aumento en materia seca, también se podría explicar por un aumento del tamaño de las partes de la planta que tienen mayor contenido en materia seca, como es el caso de un aumento en la longitud del peciolo.

En nuestro ensayo los resultados de producción mostraron diferencias significativas, con un rendimiento un 56% mayor en el momento de la segunda recolección que en el de la primera (Tabla 3).

Postcosecha

Respecto al contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, se sabe que en las plantas se pueden ver modificados por muchos aspectos, tales como factores ambientales, prácticas culturales, estreses bióticos y abióticos y factores genéticos (Pandino et al., 2010). La mayor capacidad antioxidante podría deberse a un incremento en la actividad de varios enzimas antioxidantes, como superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa (Djanaguiraman et al., 2004).

Una respuesta fisiológica de las plantas a estrés por agotamiento del oxígeno es la implicación del mecanismo de defensa antioxidante para hacer frente al estrés oxidativo (Colmenarejo y Voesenek, 2009). De acuerdo con Gökmen et al. (2000), compuestos fenólicos, junto con vitamina C, son los principales antioxidantes de hortalizas del género Brassica, debido a su alto contenido y alta actividad antioxidante. En nuestro estudio los compuestos fenólicos no se vieron afectados por la hipoxia pero sí por el momento de la recolección y el tiempo de almacenaje a 5°C. Suponemos que las variaciones en la capacidad antioxidante se debieron a la vitamina C y probablemente otras fuentes, tales como el glutatión, y otros fitonutrientes, que no fueron cuantificados en este estudio. Esto nos lleva a confirmar el papel fundamental de la actividad antioxidante en el sistema de defensa de las plantas para proteger los procesos metabólicos ante el H₂O₂ y otros derivados tóxicos del oxígeno (Shao et al., 2008).

La calidad del producto final puede verse afectado por las adaptaciones metabólicas a la deficiencia de oxígeno, la reducción de la acumulación potencial de los compuestos finales anti-nutricionales y el aumento en las concentraciones de fitoquímicos funcionales. En general, la aireación en la solución nutritiva aumentó las

concentraciones de nitrato (Ferrante et al, 2003; Tesi et al, 2003b; Lara et al, 2011), también de los oxalatos e incrementó las concentraciones de fitoquímicos funcionales, como el calcio (Tabla 5), en varias especies cultivadas en sistemas flotantes (Lara et al., 2011). En el ensayo, el berro presentó concentraciones elevadas de nitratos, lo que confirma que el berro es una planta acumuladora de nitratos (Santamaría, 2006). Por otro lado, la luz es uno de los principales factores que influyen en la concentración de nitratos, haciendo que aumenten en condiciones de poca luz. Michalsky et al. (1997) demostraron que reduciendo la luz artificial se redujo el contenido de nitratos en el berro cultivado en un sistema de flujo-reflujo. En nuestro ensayo, la concentración de nitrato en condiciones de AA fue mayor y también en el segundo corte donde el valor de DLI fue menor.

Por lo general, las soluciones con bajo contenido en oxígeno tienen un efecto negativo en la adquisición de nutrientes por las raíces debido a que la absorción de iones de las células se ve afectada por el nivel de oxígeno. En nuestro estudio Ca^{2+} disminuyó en el tratamiento de NA (Tabla 5), de acuerdo con los resultados de Trought y Drew (1980), quienes demostraron que en condiciones de hipoxia las concentraciones de Ca^{2+} cayeron en los brotes de trigo.

Los resultados de la actividad microbiana indicaron que el tiempo de almacenamiento influyó tanto en la actividad de microorganismos mesófilos como de psicrófilos, que el momento de la recolección sólo influyó en los psicrófilos aumentando en la segunda recolección y que los tratamientos de aireación influyeron en la población microbiana (Gráfica 8). Los mesófilos aumentaron en los dos tratamientos en los que se realizó la aireación de la solución nutritiva y en psicrófilos este aumento se

apreció de forma significativa en el tratamiento de AA. Estos resultados coinciden con los obtenidos en canónigo en los que los recuentos microbianos incrementaron en soluciones nutritivas aireadas (Manzocco et al., 2011).

CONCLUSIONES

Los tratamientos de aireación de la solución nutritiva no afectaron al crecimiento y desarrollo de la planta ni a su contenido en potasio. Si tuvo efecto aumentando el contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante, los nitratos, oxalatos, Ca^{2+} y la actividad microbiana.

El retraso en la recolección dio lugar a un mayor rendimiento del cultivo. Las plantas de berro presentaron una mayor capacidad antioxidante, contenido en fenoles totales, calcio, potasio, así como un aumento de la concentración de nitratos, oxalatos y la actividad de los psicrófilos.

Al final del periodo de almacenamiento a 5°C disminuyeron los fenoles totales, nitratos, oxalatos, calcio y potasio. Por el contrario, la capacidad antioxidante y la actividad microbiana aumentaron durante el periodo de almacenamiento.

La búsqueda de un equilibrio entre los tratamientos de aireación y el momento de la recolección permitirán obtener la máxima calidad en el berro como producto de cuarta gama.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F., Cirilo, A., Uhart S., Otegui M. (1996). Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa. Buenos Aires.
- Colmer, T.D., Voesenek, L.A.C.J., (2009). Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Func. Plant Biol.* 36, 665-681.
- Conesa E., Lara L.J., Niñirola D., Ochoa J., Fernández J.A. (2009). Efecto de la dosis de nitrógeno sobre el desarrollo y el contenido de nitratos y oxalatos en colleja cultivada en bandejas flotantes. III Jornadas del Grupo de Fertilización de la SECH.
- Cros, V., Nicola, S., Fernández, J. A., Martínez, J. J., Carreño, S. (2003). Cultivo de hortalizas en bandejas flotantes: Sistema de riego y control de la solución nutritiva. *Revista Agrícola Vergel* 268. 20-26. Tesis doctoral de Víctor Cros.
- Djanaguiraman, M.; Devi, D.D.; Sheeba, J.A.; Bangarusamy, U.; Babu, R.C.(2004) Effect of oxidative stress on abscission of tomato fruits and its regulation by nitrophenols. *Tropical Agricultural Research*, 16: 25-36.
- Fernández J.A., Niñirola D., Vicente M.J., Conesa E., López J, González A. (2007). Efecto de la densidad de plantación y del tipo de sustrato sobre la producción de verdolaga (*Portulaca oleracea L.*) en un cultivo hidropónico de bandejas. XXXVII Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura: Almería 2007. Pág: 707-714.
- Ferrante, A., Incrocci, L., Maggini, R., Tognoni, F., (2003). Preharvest and postharvest strategies for reducing nitrate content in rocket (*Eruca sativa*). *Acta Hort.* 628, 153-159.

- Fontana, E., Nicola, S., Hoeberechts, J. and Saglietti, D. (2003). Soilless culture systems produce ready-to-eat corn salad (*Valerianella oleracea* L.) of high quality. *Acta Horticulturae* (ISHS) 604:505-509.
- Fukao, T., Bailey-Serres, J., (2004). Plant responses to hypoxia is survival a balancing act? *Trends Plant Sci.* 9, 449-456.
- Gericke W.F. (1937). Hydroponics. Crop production in liquid culture media. *Science* 85: 177-178.
- Galloway, B. A., Monks, D.W., Schultheis, J.R., (1996). Effect of herbicides on pepper transplants produced using various irrigation systems. Dept. of Horticultural Science. North Carolina University. 323-332.
- Going, B., Simpson, J., Even, T., (2008). The influence of light on the growth of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *Hydrobiologia* 607, 75-85.
- Gökmen, V., Kahraman, N., Demir, N., Acar, J., (2000). Enzymatically validated liquid chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruit and vegetables. *J. Chrom. A* 881, 309-316.
- Kara Y. (2006). Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated *Nasturtium officinale*. *International Journal of Environment Science and Technology*. Vol. 2, Num. 1, 2005-2006, pp. 63-67
- Lara, L., Egea-Gilabert, C., Niñirola, D., Conesa, E., Fernández, J.A. (2011). Effect of aeration of the nutrient solution on the growth and quality of purslane (*Portulaca oleracea*). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 86, 603-610.

- Manzocco, L., Foschia, M., Tomasi, M., Maifreni, M., (2011). Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta L. Laterr*). *J. Sci. Food Agri.* 91, 1373-1380.
- Meletti N. (2006). L'innovazione di prodotto in orticoltura: ilcasodella IV gamma. Tesis doctoral. (www.tesionline.com).
- Michalsky, F., Hanke, A., Schnitzler, W.H., (1997). Ertrag und Qualität von Brunnenkresseim Ebbe/Flut-System. *Gemüse* 33, 575-578.
- Pandino, G, Courts, FL, Lombardo, S, Mauromicale, G, Williamson, G, (2010). Caffeoylquinic acids and flavonoids in the immature inflorescence of globe artichoke, wild cardoon, and cultivated cardoon. *J Agric Food Chem* 58, 1026–1031.
- Palaniswamy U.R., Bible B.B., McAvoy R.J. (2004). Oxalic acid concentrations in Purslane (*Portulaca oleraceae L.*) is altered by the stage of harvest and the nitrate to ammonium ratios in hydroponics. *Scientia Horticulturae* 102 (2004) 267–275.
- Santamaria, P., Elia, A., Gonnella, M., Serio, F., Todazo, E. (1997). I fattori che influenza nol'accumulo dei nitratine gliortaggi. *L'Informatore agrario* 40. 117-121.
- Santamaria, P., (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agri.* 86, 10-17.
- Seelig, R.A., (1974). *Fruit & vegetable facts & pointers*. United Fresh Fruit & Vegetable Association, Washington, D.C.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Lu, Z.H., Kang, C.M., (2008). Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. *Int. J. Biol. Sci.* 4, 8-14.

- Smith, E.N., (2007). Watercress (*Nasturtium officinale*) Production Utilizing Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) Flow-through Aquaculture Effluent Thesis submitted to the Davis College of Agriculture, Forestry, and Consumer Sciences at West Virginia University.
- Tesi, R., Lenzi, A., Lombardi, P., (2003a). Effect of different O₂ levels on spinach (*Spinacia oleracea L.*) grown in a floating system. *Acta Hort.* 614, 631-637.
- Tesi, R., Lenzi, A., Lombardi, P., (2003b). Effect of salinity and oxygen level on lettuce grown in a floating system. *Acta Hort.* 609, 383-387.
- Trought, M.C.T., Drew, C., (1980). The development of water logging damage in young wheat plants in anaerobic solution cultures. *J. Exp. Bot.* 31, 1573-1585.
- Visser, E.J.W., Colmer, T.D., Blom, C.W.P.M., Voeselek, L.A.C.J., (2000). Changes in growth, porosity, and radial oxygen loss from adventitious roots of selected mono and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. *Plant Cell Environ.* 23, 1237-1245.
- Williams ,D.J., Critchleya ,C., Punb ,S., Chalihab, M., O'Harec, T.J. (2009). Differing mechanisms of simple nitrile formation on glucosinolate degradation in *Lepidium sativum* and *Nasturtium officinale* seeds. *Phytochemistry*. Vol. 70, Pag 1401-1409.
- Yazdanparast R, Bahramikia S, Ardestani A. (2008). *Nasturtium officinale* reduces oxidative stress and enhances antioxidant capacity in hypercholesterolaemic rats. *Chemico-Biological Interactions*. Pag. 176-184.