

A photograph of a large-scale hydroponic lettuce cultivation system inside a greenhouse. The plants are arranged in long, parallel rows on white trays, with some showing deep red leaves and others green. Two people are visible in the background, working among the plants. A red arrow-shaped banner with white text is overlaid on the top left of the image.

Artículo técnico

Tratamientos precosecha de radiación ultravioleta-b para aumentar la calidad funcional de lechugas (*Lactuca sativa* L.) “Baby” hidropónicas

Luis Arturo Rivera Marchant, María Luisa Tapia,
Luis Luchsinger, Silvia Rodríguez y Víctor H. Escalona C.
vescalona@uchile.cl

Tratamientos precosecha de radiación ultravioleta-b para aumentar la calidad funcional de lechugas (Lactuca sativa L.) “Baby” hidropónicas

Rivera Marchant, Luis Arturo; Tapia, María Luis; Luchsinger, Luis;
Rodríguez, Silvia; Escalona C., Víctor H

- CITSE-CONICET: Centro de Investigaciones y Transferencia de Santiago del Estero
- UNSE: Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina

Índice

	Pág.
Resumen	3
Introducción	4
1 Materiales y método	5
2 Resultados y discusión	9
3 Conclusiones	21
4 Imágenes con diferentes facetas de los ensayos	21
Referencias	25
Cíтанos	28

Resumen

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, por lo cual nace la necesidad de cumplir con las exigencias del consumidor por hojas más suaves, de distintas formas y colores, y que aseguren la inocuidad de las mismas. Para cumplir estas demandas se pueden ligar distintas técnicas de cultivo como son la hidroponía y la producción de hojas “baby”. Además de esto, es necesario tener un producto con mayor funcionalidad, es decir, un producto que entregue características nutricionales adecuadas junto con elementos beneficiosos para el organismo; en este sentido se ha investigado en los últimos años la radiación UV-B (280-320 nm), la cual tiene la capacidad de aumentar los compuestos fenólicos, ligados directamente con una mayor capacidad antioxidante del vegetal.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el aumento en la capacidad antioxidante de lechugas “baby” hidropónicas cvs. ‘Kristine RZ’ (verde) y ‘Versaï RZ’ (rojo), con tratamientos de radiación UV-B aplicados durante el cultivo. Para esto se emplearon tres tratamientos de radiación UV-B más el tratamiento control con distintas intensidades por 10 días a lechugas en 5ª hoja verdadera. Luego de este periodo se cosecharon las hojas externas manteniendo dos centrales para el segundo periodo de aplicación, en el cual se replicaron los manejos utilizados con anterioridad. En cada cosecha se midieron diferentes parámetros tales como área foliar, biomasa, pigmentos foliares y compuestos fenólicos.

El principal resultado de la investigación fue el aumento de los compuestos fenólicos totales en la segunda cosecha producto de la aplicación de radiación UV-B en el cultivar ‘Kristine RZ’ desde 122 a 169 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$; mientras que el cultivar ‘Versaï RZ’ aumentó desde 544 a 589 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$. Además, se observó un aumento en la capacidad antioxidante de las hojas producto de la aplicación de radiación UV-B en el cultivar ‘Kristine RZ’ desde 298 a 332 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$; mientras que el cultivar ‘Versaï RZ’ aumentó desde 1117 a 1522 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$.

Estos resultados indican que la aplicación de radiación UV-B tuvo un efecto positivo en las características antioxidantes del producto vegetal evaluado luego de una cosecha.

Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una especie de la familia Asteraceae que tiene su origen probablemente en Asia menor. Dentro de la especie existen cuatro tipos de variedades botánicas, las cuales presentan características diferentes entre ellas: A) *L. sativa* var. *capitata*; B) *L. sativa* var. *longifolia*; C) *L. sativa* var. *crispa*; y D) *L. sativa* var. *acephala* (Giaconi y Escaff, 2004). La hidroponía es una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua siendo aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición (Gilsanz, 2007). Adicionalmente existen nuevas técnicas que tienen como fin aumentar la cantidad de metabolitos secundarios durante el cultivo de hortalizas, debido al principio que indica que la expresión del fenotipo está determinada por el genotipo y las características ambientales. Los efectos ambientales generan influencias variantes entre cada uno de los genes de un genotipo, pudiendo ser muy influyente para algunos genes y poco influyente para otros (Pierce, 2009).

La radiación ultravioleta-B (UV-B) está definida por longitudes de onda entre 280-320 nm, y sus niveles varían según la disposición temporal y espacial. Sus efectos como factor estresante son variados y entre ellos podemos destacar: los cambios complejos en la capacidad de reparación de ADN; la disminución en la actividad fotosintética; la alteración en el crecimiento y morfología de la planta; la resistencia a pesticidas y patógenos, además de inducir procesos protectores celulares que incluyen cambios en el metabolismo de fenilpropanoides aumentando la síntesis de componentes de absorción, mayormente flavonoides y otros compuestos fenólicos asociados, siendo estos últimos los más importantes en la cuantificación de capacidad antioxidante del producto (Hagen et al., 2007).

En este ámbito, investigaciones clínicas y epidemiológicas han asociado dietas ricas en frutas y hortalizas con la reducción de riesgos a enfermedades cardiovasculares, cáncer y aterosclerosis, entre otras (Jacobo-Velázquez y Cisneros-Zeballos, 2009). Se han observado resultados positivos en el aumento de compuestos fenólicos totales con tratamientos de radiación UV-B precosecha en ajeno dulce (Rai et al., 2011); tratamientos de radiación UV-B + temperatura precosecha en pak choi (Harbaum-Piayda et al., 2010); y tratamientos de radiación UV-B postcosecha en tomate (Liu et al., 2011), frutillas, arándanos, maíz dulce y papas (Du et al., 2014). Las intensidades de radiación UV-B utilizadas en los estudios antes mencionados son desde 18 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ hasta 60 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, en sus diferentes formas de uso.

Además, referente a la aplicación de radiación UV-B también se ha investigado su efecto sobre el área foliar, debido a su importancia en la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Warnock et al., 2006); la biomasa, que se entiende como la materia seca de un organismo vegetal, la cual es resultado de la transformación de energía solar en energía química, y es de vital importancia por constituir la principal fuente de vitaminas, minerales, antioxidantes y fitoquímicos en vegetales (Martínez y Leyva, 2014). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de radiación ultravioleta-B (UV-B) en condiciones de invernadero sobre las características antioxidantes de hojas de lechugas “baby” rojas y verdes cultivadas en un sistema hidropónico.

1. Materiales y método

Lugar de estudio: El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. El ensayo se realizó entre agosto y diciembre de 2014 en el invernadero y laboratorios del Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) dentro de la misma Facultad.

Se utilizaron lechugas (*Lactuca sativa* L.), cultivares ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’; ambos de tipo de hoja roble (“Oak leaf”), verde y roja respectivamente.

Previo a la siembra se realizó una prueba de germinación según las Normas ISTA. La siembra se realizó a fines de otoño en bandejas alveoladas con sustrato en relación 1:1 de perlita con lana de roca.

Trasplante: se realizó cuando las lechugas alcanzaron el estado de 3ª a 4ª hoja verdadera a una mesa de cultivo hidropónicos de NFT (nutrient film technique) de 1,5x7 m, con 8 perfiles previamente perforados, con una densidad de plantas de 53 plantas m⁻², una pendiente de 2,5% y una altura de lámina de solución nutritiva de 0,005 m. Cuando las plantas estuvieron en estado fenológico de 4ª a 5ª hoja verdadera se regó con una solución nutritiva Hoagland II-modificada diluida al 50%.

Aplicación de los tratamientos: La aplicación de los tratamientos comenzó con una campaña de medición de radiación fotosintéticamente activa (PAR, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) con un medidor de radiación PAR (Fieldscout, Modelo 3415, EE.UU.). De lo anterior, se obtuvo que el mejor horario para comenzar a aplicar radiación UV-B a las plantas fue a las 19:00 horas, esto debido a que corresponde al momento más cercano al punto de compensación luminosa de plantas de sol (20-30 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); en el cual el flujo fotónico en el intercambio neto de la hoja es cero, igualándose las tasas de producción y consumo de CO₂ (Azcón-Bieto et al., 2008).

La radiación UV-B se aplicó con 13 lámparas de radiación UV (Q-Panel 313, Cleveland, USA), dispuestas en una estructura de acero de dimensiones de 1,5x1,8 m. Las lámparas fueron cubiertas con una mica de 0,11 mm (Socomish, Santiago, Chile) para aislar cualquier otro tipo de radiación distinta a la radiación UV-B.

La dosis utilizada se aplicó con una misma altura entre lechugas y lámparas, difiriendo en el encendido de estas últimas. De lo anterior, se obtuvieron 4 tratamientos: UVB0 (0 μWcm^{-2}), UVB16 (16 μWcm^{-2}), UVB33 (33 μWcm^{-2}) y UVB58 (58 μWcm^{-2}).

Estos tratamientos se aplicaron por 30 minutos diarios durante 10 días, periodo establecido gracias a ensayos previos realizados durante el mismo espacio de tiempo. Las dosis antes descritas se aplicaron cuando las lechugas se encontraron en 5ª a 6ª hoja verdadera. Las condiciones del invernadero para la época donde se mantuvieron las plantas fue de $22,4 \pm 4,5^{\circ}\text{C}$ de temperatura media diaria, y $48,8 \pm 6,5\%$ de humedad relativa media diaria.

Cosecha: Transcurridos 10 días de aplicación de dosis de radiación UV-B, encontrándose las lechugas en estado fenológico de 8ª a 9ª hoja verdadera, se cosecharon 7 a 8 hojas exteriores de cada planta, dejando 2 a 3 hojas por planta. Luego de cosechadas las hojas “baby” (tamaño promedio de $10,4 \pm 0,8$ cm de diámetro polar), se eligieron 14 hojas por repetición para medir área foliar y materia seca. Parte de este material vegetal se congeló a -80°C para las evaluaciones de fenoles totales y capacidad antioxidante.

Terminada la cosecha, en la cual las plantas quedaron con 2 a 3 hojas verdaderas, se mantuvo el cultivo hasta encontrarse con 5 a 6 hojas completamente extendidas, momento en el cual se aplicó el mismo periodo de radiación UV-B, con las mismas dosis y condiciones del periodo anterior. Se cosechó, finalmente, con las mismas condiciones detalladas en la primera cosecha. La diferencia temporal entre las cosechas fue de 19 días.

Evaluaciones:

Área foliar (cm^2). Se midió el área foliar de 10 hojas por repetición, con un determinador de área foliar (Area Meter, LI-COR 3000, EE.UU.).

Materia seca (%). Se midió este parámetro en 10 hojas por repetición con una balanza de precisión (Radwag, AS 100/C/2, Polonia), en donde la masa de materia fresca se obtuvo con la hoja completa. Luego de obtener la materia fresca, la muestra se secó en una estufa (Labtech, LDO-150F, Corea) con ventilación forzada de aire a 70°C hasta obtener masa constante. Para evaluar el parámetro de materia seca se expresó en porcentaje de materia fresca.

Extracción de compuestos bioactivos: Se utilizó el método adaptado de Swain y Hills (1959). Para obtener el extracto a medir se colocaron 5 g de muestra (mantenida a -80°C) junto con 20 mL de metanol en un tubo Falcon de 50 mL. Compuestos fenólicos totales ($\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$): La determinación de fenoles totales se llevó a cabo según el método colorimétrico con el reactivo Folin Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965). En cada celda de la multiplaca se agregaron 19,2 μL de extracto/blanco, junto con 29 μL de reactivo Folin-Ciocalteu (en relación 1:8 con agua destilada). Los resultados se expresaron como μg de ácido gálico (EAG) $\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

Capacidad antioxidante por DPPH ($\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$): El protocolo de medición de DPPH se llevó a cabo según el método utilizado por Brand-Williams et al. (1995). En cada celda se agregaron 21 μL de muestra y 194 μL de solución DPPH (previamente ajustado a 1,1 de absorbancia a 515nm). Los resultados se expresaron como μg de Trolox (ET) $\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

Capacidad antioxidante por FRAP ($\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$): El protocolo de FRAP se llevó a cabo según el método utilizado por Benzie y Strain (1996). Se agregó en cada celda de la multiplaca 6 μL de muestra y 198 μL de reactivo FRAP. Pasados 30 minutos, tiempo en el cual se estabilizó la reacción, se midió la absorbancia a 593 nm. Los resultados se expresaron como μg de Trolox (ET) $\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

Diseño y análisis estadístico: El estudio se realizó bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) con estructura factorial 4x2 con 3 repeticiones. Los factores correspondieron al nivel de radiación UV-B y los dos cultivares, distribuyéndose al azar dentro de cada repetición. La unidad experimental utilizada fue de 8 plantas por repetición por cultivar. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), y cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas se usó la prueba de comparaciones de rangos múltiples de Tukey, con un nivel de significancia de 5%.

2. Resultados y discusión

Área foliar. El cultivar 'Kristine RZ' presentó diferencias significativas en el área foliar entre las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha. La mayor área foliar se observó en la intensidad de radiación UV-B de $0 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($71,8 \text{ cm}^2$), mientras la menor área foliar se observó en $58 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($39,3 \text{ cm}^2$). El cultivar 'Versaï RZ' no presentó diferencias significativas entre las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha, observándose un promedio de $46,7 \text{ cm}^2$ (Figura 1).

El efecto cultivar se expresó en una mayor área foliar por parte del cultivar 'Kristine RZ' respecto a 'Versaï RZ' en las intensidades de radiación UV-B de 0 y $16 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$; mientras que en 33 y $58 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ no hubo diferencias significativas entre los cultivares.

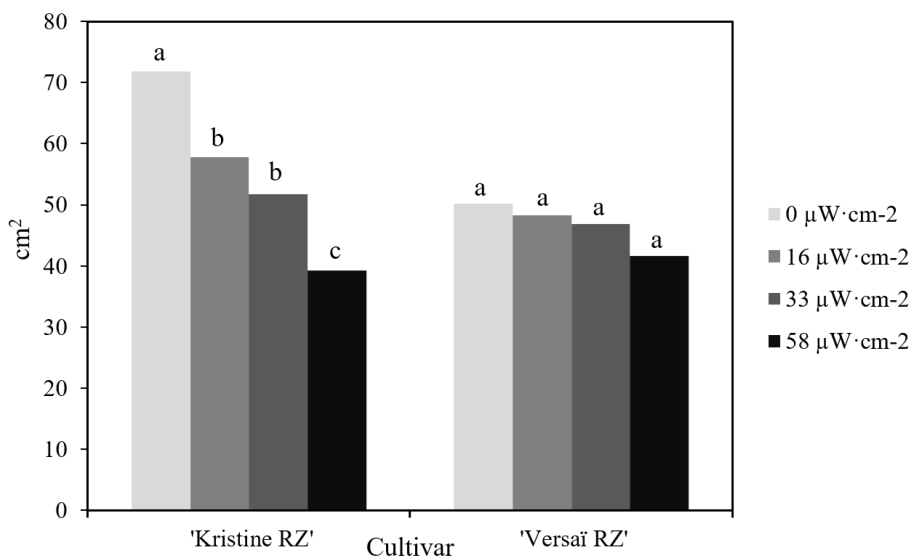


Figura 1. Efecto de la radiación UV-B sobre el área foliar (cm^2) de las hojas de lechuga "baby" cvs. 'Kristine RZ' y 'Versaï RZ' cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre intensidades de radiación UV-B por cultivar ($p \leq 0,05$).

Luego, en la segunda cosecha las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B no presentaron una interacción significativa entre ambos factores, solo se presentó efecto del cultivar por sí sólo. Este se expresó en una mayor área foliar por parte del cultivar ‘Kristine RZ’ respecto a ‘Versaï RZ’ en todas las intensidades de radiación UV-B en la segunda cosecha. Además, se observó una disminución del área foliar de las hojas de lechuga luego de la cosecha en ambos cultivares. ‘Kristine RZ’ disminuyó de 55,1 cm² como promedio de todas las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha a 47,4 cm² en la segunda. Por otro lado, ‘Versaï RZ’ disminuyó de 46,7 cm² en la primera cosecha a 37,2 cm² en la segunda (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variación de área foliar (cm²) entre distintos periodos de cosecha de hojas de lechuga expuestos a distintas intensidades de radiación UV-B en un sistema hidropónico.

Área foliar (cm ²)		
Cultivar	Cosecha 1	Cosecha 2
'Kristine RZ'	55,1 ± 13,5	47,4 ± 2,8
'Versaï RZ'	46,7 ± 3,7	37,2 ± 3,2

El área foliar del cultivar ‘Kristine RZ’ disminuyó probablemente debido al efecto de la radiación UV-B en la primera cosecha. En investigaciones previas se determinaron que las posibles causas de tal variación en plantas se deberían a la división y expansión celular. La división celular se ve afectada por la acción oxidativa de la radiación UV-B sobre las tubulinas, y en la síntesis de histonas, ambas proteínas (Logemann et al., 1995). Por otro lado, la expansión celular se ve afectada por el mayor entrecruzamiento en los enlaces formados entre carbohidratos y ácido ferúlico (Dale, 1988).

El cultivar ‘Versaï RZ’ no se afectó por la radiación UV-B aplicada, presentando mayor resistencia ante este tipo de estrés. Este efecto se puede atribuir a la mayor cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales impedirían que la radiación UV-B dañe estructuras más sensibles, actuando como primera barrera ante este tipo de estrés (Kataria y Guruprasad, 2012).

Luego, en la segunda cosecha, el área foliar no se afectó por la radiación UV-B en ambos cultivares, lo cual puede tener diversas razones, entre las cuales se detalla la edad de la planta, espesor de la hoja, el cual podría aumentar en presencia de radiación UV-B (Verdaguer et al., 2012); y cantidad de compuestos fenólicos, que según estudios anteriores se ve aumentado por el estrés producido por la cosecha de hojas (Pokkaew et al., 2013), entre otras. Materia seca (%). En las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre ambos factores, atribuibles al efecto ejercido por la radiación UV-B sobre los cultivares de lechuga cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’, en la primera cosecha.

El cultivar ‘Kristine RZ’ no presentó diferencias significativas entre las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha, observándose un promedio de 6,4% de porcentaje de biomasa. El cultivar ‘Versaï RZ’ presentó diferencias significativas en la relación materia seca/materia fresca entre las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha. La mayor relación materia seca/materia fresca se observó en las intensidades de radiación UV-B de 16 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (7,0%) y 58 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (7,5%) sin diferencias significativas; mientras que la menor se observó en 0 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (6,3%) y 33 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (6,8%) sin diferencias significativas.

El efecto cultivar se expresó en un mayor porcentaje de materia seca por parte del cultivar ‘Versaï RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’ en las intensidades de radiación UV-B de 16 y 58 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$; mientras que en 0 y 33 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ no hubo diferencias significativas entre los cultivares (Figura 2).

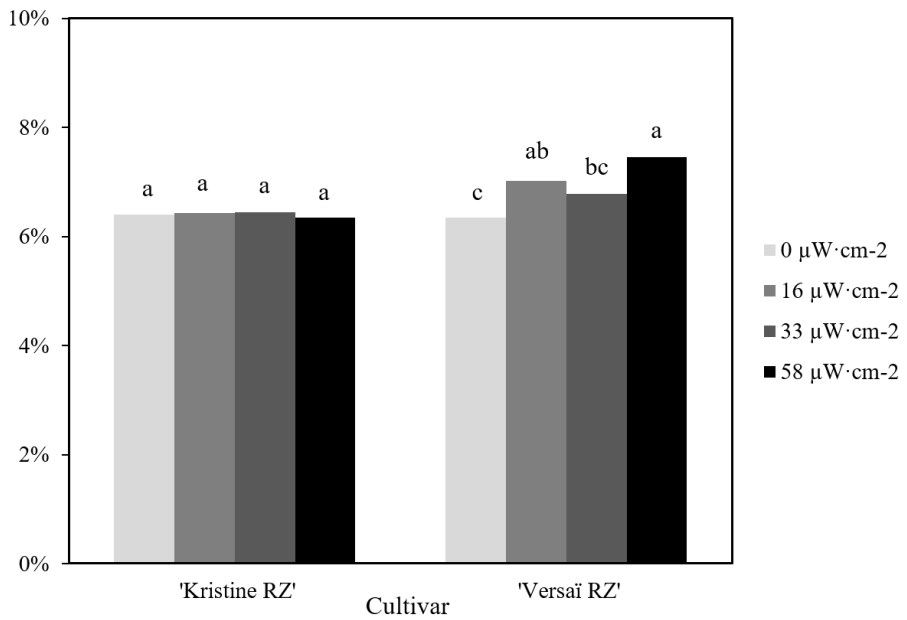


Figura 2. Efecto de la radiación UV-B sobre la relación materia seca/materia fresca (%) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre intensidades de radiación UV-B por cultivar ($p \leq 0,05$).

Luego, en la segunda cosecha las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B no presentaron una interacción significativa entre ambos factores, solo se presentó efecto del cultivar por sí sólo. Este se expresó en un mayor porcentaje de materia seca por parte del cultivar ‘Kristine RZ’ (14%) respecto a ‘Versaï RZ’ (11%) en todas las intensidades de radiación UV-B en la segunda cosecha. Además, se observó un aumento del porcentaje de materia seca de las hojas de lechuga luego de la segunda cosecha en ambos cultivares (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de materias seca (%) entre distintos periodos de cosecha de hojas de lechuga expuestos a distintas intensidades de radiación UV-B en un sistema hidropónico.

Cultivar	Porcentaje materia seca (%)	
	Cosecha 1	Cosecha 2
'Kristine RZ'	6,41 ± 0,04	14,05 ± 0,34
'Versai RZ'	6,90 ± 0,46	11,00 ± 0,18

Investigaciones previas referente al tema indican que existe una disminución de la materia fresca en especies vegetales como efecto de la radiación UV-B, debido principalmente a que la planta pierde la capacidad de expandirse luego de la aplicación de tratamientos (Dale, 1988), expresando este daño en una menor presión de turgor impidiendo a la célula aumentar su contenido de agua (Revilla y Zarra, 2008).

También se ha informado de una menor materia seca en plantas como efecto de la radiación UV-B, debido a una menor capacidad de fotosíntesis de las plantas (Kataria y Guruprasad, 2012), principalmente por el efecto que podría tener la radiación UV-B sobre el fotosistema II (PSII) (Bornman, 1989) dañando el segundo segmento transmembranal de la proteína D1 presente en el PSII (Barbato et al., 1995). Kataria y Guruprasad (2012) relacionaron la disminución de biomasa de sorgo con una reducción en la cantidad de clorofilas, siendo este otro posible factor al efecto mencionado.

En la segunda cosecha las hojas de lechuga “baby” hidropónicas no se afectaron por la radiación UV-B aplicadas en precosecha. Esto se pudo deber a un aumento en la cantidad de compuestos fenólicos totales inducidos por el corte, o por la misma radiación UV-B, lo cual pudo generar una mayor resistencia ante este estrés (Pokkaew et al., 2013). Cabe mencionar que hubo un aumento de la relación de materia seca/materia fresca luego de la cosecha debido probablemente al aumento de compuestos por efecto de la radiación UV-B.

Compuestos fenólicos totales. En las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B no se presentó una interacción significativa entre ambos factores, solo se presentó efecto del cultivar. Este se expresó en una mayor cantidad de compuestos fenólicos totales por parte del cultivar 'Versaï RZ' (149,3 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$) respecto de 'Kristine RZ' (29,6 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$).

Luego, en la segunda cosecha, las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B no presentaron una interacción significativa entre ambos factores; solo se presentó efecto de la radiación UV-B y el cultivar por separado. El efecto de la radiación UV-B se expresó en una mayor cantidad de compuestos fenólicos totales para las intensidades de 16 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (378,6 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$), 33 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (333,1 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$) y 58 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (394,8 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$) (Figura 3).

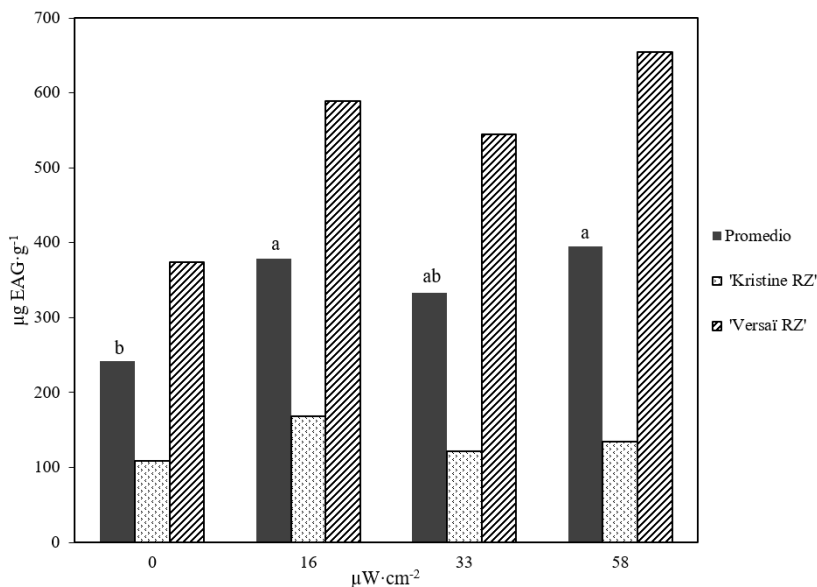


Figura 3. Efecto de la radiación UV-B sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales ($\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$) de las hojas de lechuga cultivadas en un sistema hidropónico en la segunda cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre intensidades de radiación ($p \leq 0,05$).

El efecto cultivar se expresó en una mayor cantidad de compuestos fenólicos totales por parte del cultivar 'Versaï RZ' respecto a 'Kristine RZ' en todas las intensidades de radiación UV-B en la segunda cosecha. Además, se observó un aumento de la cantidad de compuestos fenólicos totales de las hojas de lechuga luego de la cosecha en ambos cultivares. 'Kristine RZ' aumentó de 29,6 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ como promedio de todas las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha a 133,6 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la segunda. Por otro lado, 'Versaï RZ' aumentó de 149,3 $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ en la primera cosecha a 540,3 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la segunda (Figura 4).

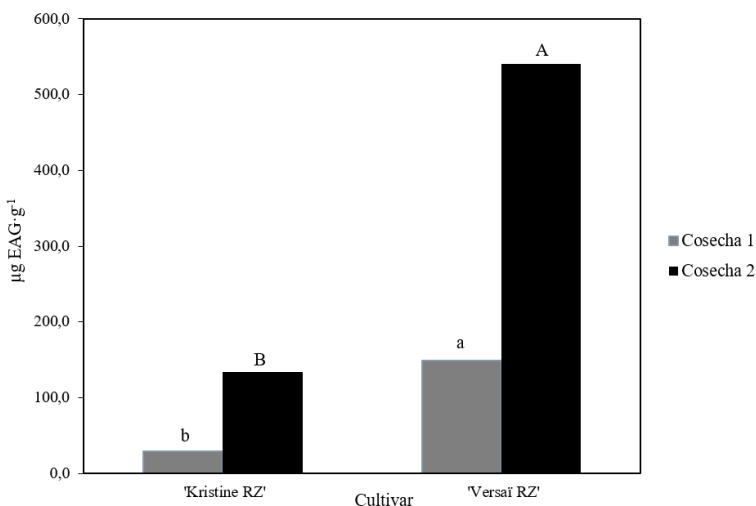


Figura 4. Efecto del cultivar sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales ($\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$) de las hojas de lechuga "baby" cvs. 'Kristine RZ' y 'Versaï RZ' cultivadas en un sistema hidropónico y cosechadas en diferentes periodos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en primera cosecha; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en segunda cosecha ($p \leq 0,05$).

Capacidad antioxidante medida por el método DPPH. En las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre ambos factores, atribuibles al efecto ejercido por la radiación UV-B sobre los cultivares de lechuga cvs. 'Kristine RZ' y 'Versaï RZ', en ambas cosechas.

El cultivar 'Kristine RZ' no presentó diferencias significativas en la capacidad antioxidante medida por método DPPH entre las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha, observándose un promedio de $44,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$. El cultivar 'Versaï RZ' no presentó diferencias significativas entre las intensidades de radiación UV-B de $0 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($174,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) y $58 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($188,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$), donde se obtuvo la mayor capacidad antioxidante del cultivar en la primera cosecha. La menor capacidad antioxidante se observó en las intensidades de radiación UV-B de $16 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($132,4 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) y $33 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($115,5 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) (Figura 5).

El efecto cultivar se expresó en una mayor capacidad antioxidante por parte del cultivar 'Versaï RZ' respecto a 'Kristine RZ' en todas las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha.

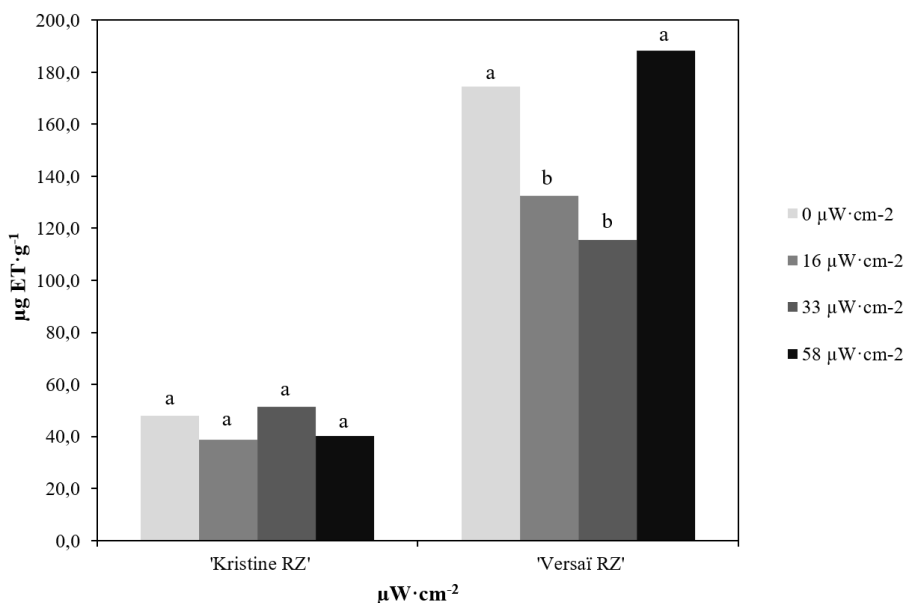


Figura 5. Efecto de la radiación UV-B sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ($\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) de las hojas de lechuga "baby" cvs. 'Kristine RZ' y 'Versaï RZ' cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre intensidades de radiación por cultivar ($p \leq 0,05$).

Luego, en la segunda cosecha el cultivar ‘Kristine RZ’ no presentó diferencias significativas en las intensidades de radiación UV-B de 16 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (297,8 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) y 58 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (331,9 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$), donde se obtuvo la mayor capacidad antioxidante del cultivar en la segunda cosecha. La menor capacidad antioxidante se observó en las intensidades de radiación UV-B de 0 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (260,1 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) y 33 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (205,8 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$), sin diferencias significativas entre ellas. Por otro lado, el cultivar ‘Versaï RZ’ presentó diferencias estadísticamente significativas en todas las intensidades de radiación UV-B, en donde la menor capacidad antioxidante se observó en la intensidad de radiación UV-B de 0 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (872,8 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$); y la mayor fue observada en la intensidad de 16 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (1521,6 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$).

Cabe mencionar que se observó un aumento de la capacidad antioxidante respecto al control en las intensidades de radiación UV-B de 16 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (74%), 33 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (28%) y 58 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (63%) (Figura 6). El efecto cultivar se expresó en una mayor capacidad antioxidante por parte del cultivar ‘Versaï RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’ en la segunda cosecha.

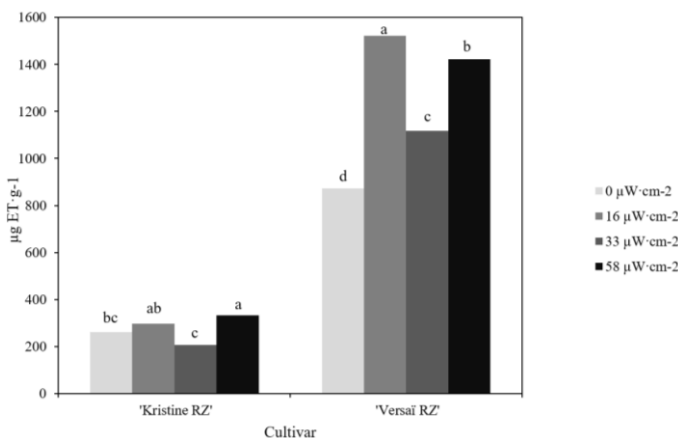


Figura 6. Efecto de la radiación UV-B sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ($\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en la segunda cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre intensidades de radiación por cultivar ($p \leq 0,05$).

Se observó un aumento de la capacidad antioxidante de las hojas de lechuga luego de la cosecha en ambos cultivares. ‘Kristine RZ’ aumentó de 44,6 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ como promedio de todas las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha a 273,9 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la segunda. Por otro lado, ‘Versaï RZ’ aumentó de 148,2 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la primera cosecha a 1233,6 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la segunda (Figura 7).

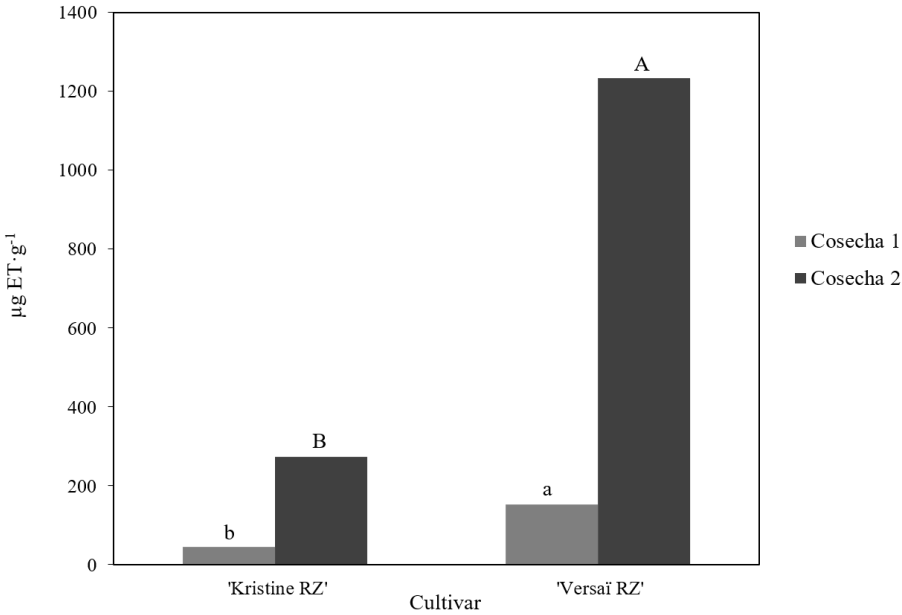


Figura 7. Efecto del cultivar sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ($\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico y cosechadas en diferentes periodos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en primera cosecha; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en segunda cosecha ($p \leq 0,05$).

Capacidad antioxidante medida por el método FRAP. En las hojas expuestas a distintos niveles de radiación UV-B no se presentó interacción significativa entre ambos factores. Sin embargo, se presentó efecto del cultivar por si sólo en ambas cosechas expresado en una mayor capacidad antioxidante en el cultivar ‘Versaï RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’.

Se observó un aumento de la capacidad antioxidante de las hojas de lechuga luego de la cosecha en ambos cultivares. 'Kristine RZ' aumentó de 22,6 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ como promedio de todas las intensidades de radiación UV-B en la primera cosecha a 146,9 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la segunda. Por otro lado, 'Versaï RZ' aumentó de 60,9 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la primera cosecha a 591,4 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ en la segunda (Figura 8).

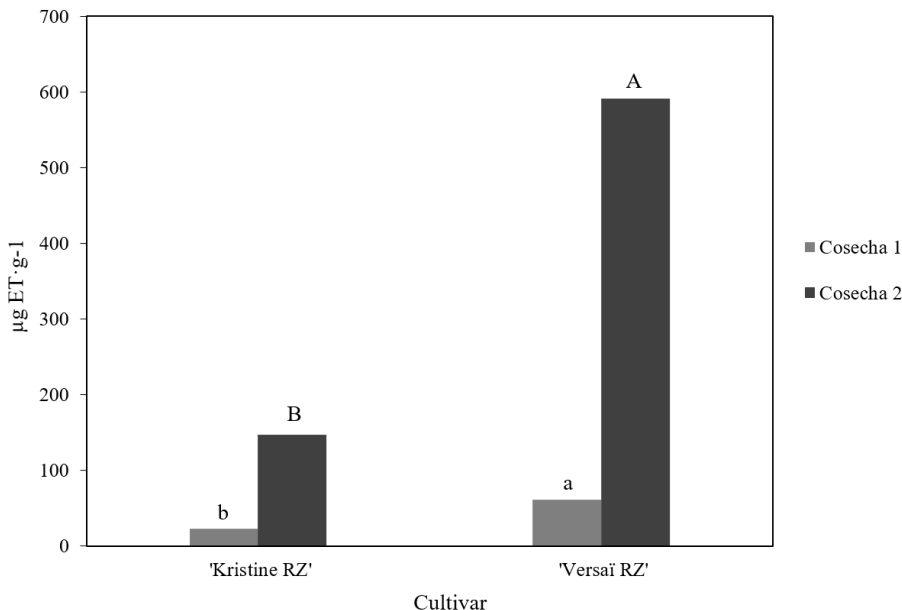


Figura 8. Efecto del cultivar sobre la capacidad antioxidante medida por método FRAP ($\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$) de las hojas de lechuga “baby” cvs. 'Kristine RZ' y 'Versaï RZ' cultivadas en un sistema hidropónico y cosechadas en diferentes periodos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en primera cosecha; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en segunda cosecha ($p \leq 0,05$).

La cantidad de compuestos fenólicos totales presentes en las hojas de lechugas “baby” hidropónicas no se afectó por la radiación UV-B en la primera cosecha. Esto se pudo deber a una gran cantidad de factores implicados en la aplicación de tratamiento, siendo el genotipo el principal en la obtención de un efecto positivo (Scattino et al., 2014).

Luego, en la segunda cosecha, la cantidad de compuestos fenólicos totales se afectó de manera positiva ante la radiación UV-B, independiente del cultivar. Un aumento en la cantidad de compuestos fenólicos totales se ve iniciado por una mayor actividad de la enzima PAL (Fenilalanina amonio liasa), la cual es responsable del metabolismo de los fenilpropanoides (Amodio et al., 2014). Estos metabolitos secundarios están implicados en la defensa de la planta contra insectos y otros tipos de estrés, como la radiación UV-B (Oh et al., 2009). Shaukat et al. (2013) observaron un aumento en la actividad de la enzima PAL con estímulos de radiación UV-B, lo que llevó a un aumento en la cantidad de compuestos fenólicos.

Los compuestos absorbedores, como fenoles y flavonoides, se acumulan principalmente en las células de la epidermis, y son capaces de absorber la radiación UV-B, sin interferir en la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Caldwell et al., 1983). Aun así, parte importante del valor inicial de estos metabolitos secundarios se deben a la variedad utilizada (Martínez-Sánchez et al., 2011). Los compuestos fenólicos pueden actuar como antioxidantes barriendo los radicales libres producidos por el estrés oxidativo (Treutter, 2010). Este efecto fue observado tanto en el presente estudio, como en estudios anteriores donde se relaciona el aumento en la cantidad de compuestos fenólicos con la actividad antioxidante en tratamientos de aumento de temperatura precosecha de lechuga (Oh et al., 2009); y tratamientos con radiación UV-B postcosecha de tomate (Liu et al., 2011), zanahoria (Du et al., 2012), entre otros.

3. Conclusiones

Existe efecto de la radiación UV-B sobre el área foliar y la masa de lechugas (*Lactuca sativa* L.) “baby” hidropónicas cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’ en la primera cosecha. En el caso de la segunda cosecha se observó mayor resistencia de las plantas ante este tipo de estrés.

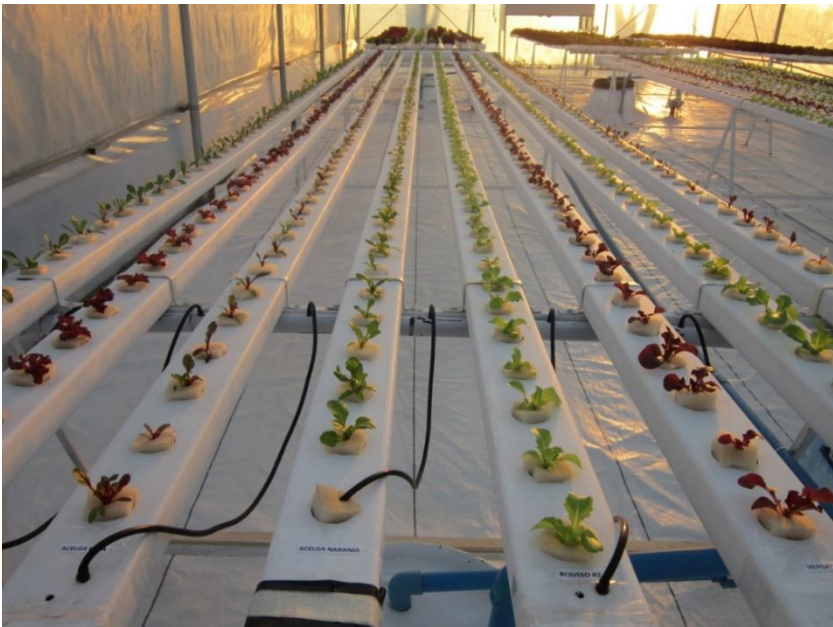
Los compuestos fenólicos totales se afectaron de manera positiva con aplicación de radiación UV-B en la segunda cosecha. Estos fueron directamente relacionados con la actividad antioxidante de las hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “baby” hidropónicas.

El efecto de la cosecha puede ser un factor importante en el aumento de compuestos fenólicos totales, y por ende la actividad antioxidante de lechugas (*Lactuca sativa* L.) “baby” hidropónicas.

Agradecimientos: Los autores agradecen el apoyo técnico y económico otorgado por la Red Hortyfresco 113RT0480 (CYTED-CONICYT) para el intercambio de los investigadores participantes de esta publicación.

***Agradecimientos** a la Red [CYTED](#) [HORTYFRESCO](#) por favorecer la colaboración entre grupos de Iberoamérica.

4. Imágenes con diferentes facetas de los ensayos







Las imágenes anteriores muestran los ensayos en diferentes momentos de los cultivos



Los ensayos sirven también con finalidad docente y de extensión

Bibliografía

- Amodio**, M., A. Derossi and G. Colelli. 2014. Modeling phenolic content during storage of cut fruit and vegetables: A consecutive reaction mechanism. *Journal of Food Engineering* 140:1-8.
- Barbato**, R., A. Frizzo, G. Friso, F. Rigoni and G. Giacometti. 1995. Degradation of the D1 protein of photosystem-II reaction centre by ultraviolet-B radiation requires the presence of the functional manganese on the donor side. *European Journal of Biochemistry* 227(3):723-729.
- Benzie** I.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytic Biochemistry* 239(1): 70-76.
- Bornman**, J. 1989. New trends in photobiology: Target sites of UV-B radiation in photosynthesis of higher plants. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 4(2): 145-158.
- Brand-Williams**, W., M. E. Cuverlier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology* 28: 25-30.
- Caldwell**, Ch. and S. Britz. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of Green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Journal of Food Composition & Analysis* 19:637-644.
- Dale**, J. 1988, june. The control of leaf expansión. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39: 267-295.
- Du**, W., R. Avena-Bustillos, A. Breksa, and T. McHugh. 2012. Effect of UV-B light and different cutting styles on antioxidant enhancement of comercial fresh-cut carrot products. *Food Chemistry* 134(4): 1862-1869.
- Du**, W., R. Avena-Bustillos, A. Breksa and T. McHugh. 2014. UV-B light as a factor affecting total soluble phenolic contents of various whole and fresh-cut specialty crops. *Postharvest Biology and Technology* 93:72-82.
- Giaconi**, V. y M. Escaff. 2004. Cultivo de hortalizas. Decimoquinta edición. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 336p.
- Gilsanz**, J. 2007. Hidroponía. Montevideo, Uruguay: INIA. 32p.
- Hagen**, S., G. Borge, G. Bengtsson, W. Bilger, A. Berge, K. Haffner et al. 2007. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biology Technology* 45(1): 1-10.

- Harbaum-Piayda, B., B. Walter, G. Bengtsson, E. Hubbermann, W. Bilger and K. Schwarz.** 2010. Influence of pre-harvest UV-B irradiation and normal controlled atmosphere storage on flavonoid and hydroxycinnamic acid contents of pak choi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *communis*). *Postharvest Biology and Technology* 56:202-208.
- Hoagland, D., and D. Arnon.** 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. The College of Agriculture University of California. Circular N° 347. 32p.
- Jacobo-Velázquez, D., and L. Cisneros-Zevallos.** 2009. Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: A new approach in data analysis for food and medicinal plants. *Journal of Food Science* 74(9): R107-R113.
- Kataria, S. and K. Guruprasad.** 2012. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280-400 nm) radiation. *Plant Science* 196:85-92.
- Liu, Ch., X. Han, L. Cai, X. Lu, T. Ying and Z. Jiang.** 2011. Postharvest UV-B irradiation maintains sensory qualities and enhances antioxidant capacity in tomato fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology* 59(3): 232-237.
- Logemann, E., S. Wu, J. Schröder, E. Schmelzer, I. Somssich and K. Hahlbrock.** 1995. Gene activation by UV light, fungal elicitor or fungal infection in *Petroselinum crispum* is correlated with repression of cell cycle-related genes. *The Plant Journal* 8(6): 865-876.
- Martínez, A. y A. Leyva.** 2014. La biomasa de los cultivos en el agroecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos tropicales* 35(1):11-20.
- Martínez-Sánchez, A., M. Luna, M. Selma, J. Tudela, J. Abad and M. Gil.** 2011. Baby-leaf and multi-leaf of Green and red lettuces are suitable raw materials for the fresh-cut industry. *Postharvest Biology and Technology* 63:1-10.
- Oh, M., E. Carey and C. Rajashekar.** 2009. Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry* 47:578-583.
- Pierce, B.,** 2009. *Genética: Un enfoque conceptual*. 3ª Edición. Madrid, España: Editorial Medica Panamericana. 730p.
- Pokkaew, R., S. Wang, Ch. Liu, F. Huang, J. Chang, Ch. Lo and R. Chiou.** 2013. Properties and characterization of antioxidant and antiglycative activities for the multiple harvests of aquatic- and field-cultivated peanut leaves and stems. *Journal of Functional Foods* 5:327-336.

- Rai, R., R. Prasad, S. Shuchi, A. Shukla, S. Kumar and S. Pandey-Rai.** 2011. UV-B and UV-C pre-treatments induce physiological changes and artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. – An antimalarial plant. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 105(3):216-225.
- Revilla, G. e I. Zarra.** 2008. Introducción a las células de las plantas: membranas y pared. (cap. 1, pp. 3-22). En: Azcón-Bieto, M. y M. Talón. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2ª Edición. Madrid, España: McGraw-Hill. 651p.
- Scattino, C., A. Castagna, S. Neugart, H. Chan, M. Schreiner, C. Crisosto, P. Tonutti and A. Ranieri.** 2014. Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines. *Food Chemistry* 163:51-60.
- Shaukat, S., M. Farooq, M. Siddiqui and S. Zaidi.** 2013. Effect of enhanced UV-B radiation on germination, seedling growth and biochemical responses of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Pakistan Journal of Botany* 45(3): 779-785.
- Singleton, V. L. and J. A. Rossi.** 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-157.
- Swain, T. and W. E. Hillis.** 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. – The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 10(1):63-68.
- Treutter, D.** 2010. Managing phenol contents in crop plants by phytochemical farming and breeding- Visions and Constraints. *International Journal of Molecular Sciences* 11:807-857.
- Verdaguer, D., L. Llorens, M. Bernal and J. Badosa.** 2012. Photomorphogenic effects of UVB and UVA radiation on leaves of six Mediterranean sclerophyllous Woody species subjected to two different watering regimes at the seedling stage. *Environmental and Experimental Botany* 79:66-75.
- Warnock, R., J. Valenzuela, A. Trujillo, P. Madriz y M. Gutiérrez.** 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Trop.* 56(1): 21-42.

Cíтанos

RIVERA MARCHANT, Luis Arturo; TAPIA, María Luisa; LUCHSINGER, Luis; RODRÍGUEZ, Silvia; ESCALONA CONTRERAS, Víctor Hugo. Tratamientos precosecha de radiación ultravioleta-b para aumentar la calidad funcional de lechugas, Lactuca sativa L, Baby hidropónicas [on-line]. *Biblioteca Horticultura*. València: serveis per la producció editorial SPE3. Marzo 2018. 30 pp. ISBN 978-84-16909-13-1 Disponible en

<http://publicaciones.poscosecha.com/es/home/414-radiacion-ultravioleta-b-para-aumentar-la-calidad-funcional-de-lechugas-baby-hidroponicas.html>

Tratamientos precosecha de radiación ultravioleta-b para aumentar la calidad funcional de lechugas, (Lactuca sativa L), ‘Baby’ hidropónicas

Marzo 2018



Víctor Escalona

Silvia Rodríguez
Luis Luchsinger
María Luisa Tapia
Luis Arturo Rivera Marchant



UNSE

Universidad Nacional
de Santiago del Estero





Dr. Manuel Candela, 26 11ª - 46021 Valencia, España
Tel +34 – 649 485 677

info@poscosecha.com

info@bibliotecahorticultura.com

<http://www.poscosecha.com> <http://www.postharvest.biz>

<http://www.horticulturablog.com>

<http://www.tecnologiahorticola.com>

<http://www.bibliotecahorticultura.com>

<http://www.actualfruveg.com>

