

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN LA CAPACIDAD  
ANTIOXIDANTE DE LECHUGAS (*Lactuca sativa* L.) “BABY” HIDROPÓNICAS.**

**LUIS ARTURO RIVERA MARCHANT**

SANTIAGO – CHILE  
2014

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN LA CAPACIDAD  
ANTIOXIDANTE DE LECHUGAS (*Lactuca sativa* L.) “BABY” HIDROPÓNICAS.**

**EFFECT OF ULTRAVIOLET-B RADIATION ON THE ANTIOXIDANT CAPACITY  
OF BABY HYDROPONIC LETTUCE (*Lactuca sativa* L.).**

**LUIS ARTURO RIVERA MARCHANT**

SANTIAGO – CHILE  
2014

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN LA CAPACIDAD  
ANTIOXIDANTE DE LECHUGAS (*Lactuca sativa* L.) “BABY” HIDROPÓNICAS**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero Agrónomo

**LUIS ARTURO RIVERA MARCHANT**

	Calificaciones
<b>Profesor Guía</b> Sr. Víctor Escalona Contreras Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0
<b>Profesores Evaluadores</b> Sr. Claudio Pastenes Villarreal Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,7
Sr. Tomislav Curkovic Sekul Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,5
<b>Colaboradores</b> Sra. María Luisa Tapia Figueras Ingeniero Agrónomo, M. Sc.	
Sra. Andrea Baeza Villarroel Ingeniero Agrónomo.	

SANTIAGO – CHILE  
2014

*A mis padres*

*“La ciencia más útil es aquella cuyo fruto es el más comunicable”*  
Leonardo da Vinci

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a mis padres Pamela y Luis, quienes han sido pilares fundamentales en mi formación como persona y profesional, entregándome su amor incondicional durante todas las etapas de mi vida. Junto con esto agradezco a mis hermanos Camila y Javier, con los cuales he compartido las mejores experiencias y vivencias.

Agradezco a mis tíos Arinda y Claudio quienes confiaron y apoyaron desde el inicio mi formación como persona. También a mis abuelos, tíos y primos quienes han sido parte importante de mi vida

A mis amigos, Paulina, María José, Camila, Carla, Mariana, Alessandro, Catalina, Javiera, Belén, Manuel y Fernando, por su compañía durante todo el proceso formativo y realización del presente trabajo de investigación, por su cariño incondicional y sus palabras de aliento.

Al profesor Víctor Escalona por sus correcciones y ayuda entregada durante el proceso de formación profesional. Gracias por sus consejos y experiencias entregadas. Junto con esto agradezco también al personal del Laboratorio de Postcosecha, quienes aportaron ayuda y comentarios; y al proyecto Fondecyt que financió la parte experimental de la investigación.

A la profesora María Luisa Tapia y a Andrea Baeza, quienes aportaron con sus conocimientos, consejos y vivencias personales para la realización de un buen trabajo de investigación. Gracias por sus palabras y su preocupación.

Finalmente agradezco a todas las personas que estuvieron involucradas en este trabajo, entregando apoyo y preocupación.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
PALABRAS CLAVES.....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
KEY WORDS. ....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
HIPÓTESIS .....	5
OBJETIVO .....	5
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	<b>6</b>
LUGAR DE ESTUDIO .....	6
MATERIALES .....	6
MÉTODO .....	6
<i>Siembra</i> .....	6
<i>Trasplante</i> .....	7
<i>Aplicación de los tratamientos</i> .....	7
<i>Cosecha</i> .....	9
EVALUACIONES.....	10
<i>Análisis físicos</i> .....	10
<i>Análisis químicos</i> .....	11
DISEÑO DE EXPERIMENTO .....	13
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	14
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>15</b>
EFECTO SOBRE MORFOLOGÍA Y CRECIMIENTO DE LAS HOJAS DE LECHUGA “BABY” HIDROPÓNICAS .....	15
<i>Efecto sobre el área foliar</i> .....	15
<i>Efecto sobre la biomasa</i> .....	18
<i>Efecto sobre el color</i> .....	21
EFECTO SOBRE LOS COMPUESTOS DE LAS HOJAS DE LECHUGA “BABY” HIDROPÓNICAS .....	24
<i>Efecto sobre pigmentos foliares</i> .....	24
<i>Efecto sobre compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante</i> .....	28
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>36</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>37</b>
<b>APÉNDICE</b> .....	<b>44</b>

## 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 concentración de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de lechugas “baby” hidropónicas cvs. ‘Kristine RZ’ (verde) y ‘Versai RZ’ (rojo), con tratamientos de radiación UV-B aplicados durante el cultivo. Se emplearon cuatro dosis de UV-B (0, 3, 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup>) a plantas de lechuga desde 5<sup>a</sup> hoja verdadera en periodos de 30 minutos desde las 19:00 horas por 10 días. Luego de este periodo se cosecharon las hojas externas manteniendo las dos centrales para un segundo periodo de aplicación. En este segundo periodo se replicaron los manejos agronómicos y dosis utilizados en el primer ensayo. En cada cosecha se evaluaron diferentes parámetros de área foliar, biomasa, pigmentos foliares y compuestos fenólicos.

Tras la aplicación de tratamientos se observó un aumento significativo de los compuestos fenólicos totales en la segunda cosecha en el cultivar ‘Kristine RZ’ de 12% a 54% más que la dosis control, y en ‘Versai RZ’ también se observó un aumento de 46% a 75% más que la dosis control. Además, la capacidad antioxidante de las hojas tras la aplicación de UV-B aumentó en ‘Kristine RZ’ de 15% a 28% más que la dosis control y en ‘Versai RZ’ de 28% a 74% más que la dosis control. Por tanto la aplicación de radiación UV-B aumentó el valor funcional de las hojas de lechuga.

**Palabras claves:** Área foliar, biomasa, pigmentos, compuestos fenólicos, hidroponía, calidad funcional.

## ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most consumed vegetables in the world, that is the reason why it is very important to meet the consumer's requirements using fresh leaves, different shapes and colours, and assuring the safety of them. To carry out that task, it can be linked to different farming techniques as hydroponic and baby leaf vegetable production. Furthermore, it is necessary to have a high functional vegetable; that is the way to give appropriate nutritional characteristics with beneficial compounds for human health. The UV-B radiation (280-320 nm) has the capacity to increase the phenolic compound and the antioxidant activity of the leaves.

The objective of this research was to evaluate the increase of functional compounds and antioxidant capacity of hydroponic baby leaf lettuce cvs. 'Kristine RZ' (green) and 'Versai RZ' (red) with UV-B radiation treatments (0, 3, 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup>) at pre-harvest. Four different doses were applied in half-hour periods starting at 19:00 pm for 10 days on the leaves since fifth true leaf. After this period, external lettuce leaves were harvested leaving two central leaves for a second UV-B application period. In this second period, the same agricultural managements and UV-B doses were applied. In each harvest momento different parameters were measured as leaf area, biomass, leaf pigments and phenolic compounds.

The increased of total phenolic compounds at the second harvest moment as a response of UV-B application in 'Kristine RZ' reached 12 percent to 54 percent more than the control dose, and in 'Versai RZ' from 46 percent to 75 percent more than the control dose- Moreover, it was observed that antioxidant capacity increased in 'Kristine RZ' from 15 percent to 28 percent more than the control dose, and in 'Versai RZ' from 28 percent to 74 percent more than the control dose. The results showed that UV-B applications had an increased effect in the antioxidant characteristics of baby lettuce leaves.

**Key words:** Leaf area, biomass, pigments, phenolic compounds, hydroponic system, functional quality.

## 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 de importancia, 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). Su importancia nutricional radica en la incorporación de minerales, fibras, provitamina A o  $\beta$ -caroteno y cantidades apreciables de vitamina C a la dieta (Granval y Gaviola, 1991; CCI, 2006). En los últimos años se integró a la gama de hortalizas los cultivos “baby”, en este caso mini lechugas o lechugas “baby”. Éstas tienen importancia de cultivo gracias al rápido establecimiento y el gran número de plantas que se pueden cultivar por superficie. Encalada (2000) y Pais (2000) determinaron las condiciones de cosecha para este producto entre 25 a 29 días después de trasplante (DDT) y diámetro ecuatorial entre 10 y 13 cm, con ensayos realizados en primavera de 1999 en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. La densidad de plantas hace a este tipo de cultivo interesante para un uso intensivo como lo es la hidroponía.

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). En cuanto a los métodos o sistemas de cultivos hidropónicos se diferencian dos grandes grupos: cultivos en sustratos inertes y cultivos en medios líquidos. De los anteriores, los más utilizados son los cultivos en medios líquidos, específicamente dos tipos: sistema de raíz flotante, en donde el cultivo está en contacto continuo con la solución nutritiva, es fácil de realizar y de bajo costo (Giaconi y Escaff, 2004; Gilsanz, 2007); y el cultivo NFT (“Nutrient Film Technique”) en el cual el principio del sistema consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución a través de las raíces, no existiendo pérdidas ni salidas de solución nutritiva, siendo un sistema de tipo cerrado (Carrasco, 1996).

El cultivo hidropónico se concibe como un sistema limpio y sano, pero aun así no entrega las características necesarias que requiere el consumidor actual. Este consumidor demanda calidad sensorial y valor funcional en los productos hortícolas que adquiere. Así, las propiedades funcionales pasan a formar parte importante de la elección, debido a las concentraciones de vitaminas y compuestos antioxidantes, entre otros (Scalzo et al., 2005; Gutiérrez et al., 2007). A causa de esto, se generan nuevas técnicas que tienen como fin aumentar la cantidad de metabolitos secundarios, generando cambios en las condiciones aplicadas a un cultivo, 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 según genotipo, expresando respuestas diferentes según especie y/o cultivar (Pierce, 2009).

Estas interacciones con el medio ambiente en el cual la especie se desarrolla pueden ser tanto favorables como desfavorables para algunas características. Los efectos desfavorables, o estreses, pueden llevar a interrumpir procesos metabólicos a nivel molecular, celular, de

organismo completo o incluso a nivel de ecosistema. Entre los factores ambientales que generan estos cambios o factores estresantes, están las bajas temperaturas, el ataque de microorganismos e insectos, y la radiación ultravioleta, entre otros; todos estos pueden afectar según la sensibilidad de la especie y cultivar, en la síntesis de metabolitos secundarios (Bijlsma y Loeschcke, 2005).

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 (Stapleton, 1992; Tegelberg et al., 2001; Frohnmeyer y Staiger, 2003; Ortuño et al., 2006; Hagen et al., 2007).

La concentración de compuestos antioxidantes en el alimento permiten eliminar los radicales libres generados por la oxidación de diferentes compuestos presentes en el organismo de quien los consume. Estos radicales libres pueden interactuar con proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, produciendo daños estructurales y fisiológicos que generan enfermedades crónicas e incluso en algunos casos la muerte celular (Cuerda et al., 2011). En este ámbito, investigaciones clínicas y epidemiológicas han asociado dietas ricas en frutas y hortalizas con una reducción de riesgos a contraer enfermedades cardiovasculares, cáncer y aterosclerosis, entre otras (Nijveldt et al., 2001; Moon et al., 2006; Dudonné et al., 2009; Jacobo-Velázquez y Cisneros-Zeballos, 2009).

La aplicación de radiación UV-B ha presentado resultados positivos en el aumento de la concentración de compuestos fenólicos totales con aplicaciones en precosecha de ajeno dulce (Rai et al., 2011) y pak choi (Harbaum-Piayda et al., 2010); y postcosecha de limón (Interdonato et al., 2011), tomate (Rai et al., 2011), zanahoria (Liu et al., 2011), frutillas, arándanos, maíz dulce y papas (Du et al., 2014). Las dosis de UV-B utilizadas en los estudios antes mencionados son desde 1,3 a 80 kJ·m<sup>-2</sup>.

Por otra parte, la aplicación de radiación UV-B puede afectar el área foliar y la biomasa. Ambos factores de importancia vital para las plantas debido a que el área foliar interactúa directamente con la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Warnock et al., 2006), y la biomasa es el resultado de la transformación de esta energía solar en energía química (Martínez y Leyva, 2014). Se observó una reducción de ambos factores en poroto (Buzunariz, 1999), pepino de ensalada (Parra, 2005), lechuga (Toro, 2008) y sorgo (Kataria y Guruprasad, 2012), entre otros. Otro factor importante a evaluar son los diferentes pigmentos foliares, como clorofilas y carotenoides, los cuales son sensibles a condiciones de crecimiento que presenten las plantas pudiendo tener variaciones específicas entre distintos cultivares (Kimura y Rodríguez-Amaya, 2003; Caldwell y Britz, 2006).

### **Hipótesis**

La aplicación de radiación ultravioleta-B sobre un cultivo hidropónico de lechugas “baby” podría afectar el crecimiento de las plantas, pero bajo un método controlado favorece el aumento de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en sus hojas.

### **Objetivo**

Evaluar el efecto de la aplicación de cuatro dosis de radiación ultravioleta-B (0, 3, 6 y 10  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en condiciones de invernadero sobre los compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de hojas de lechuga “baby” hidropónicas de color verde y rojo.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Lugar de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, cuya localización geográfica es de 32° 40' latitud sur y 70° 32' longitud oeste y su altitud es de 625 m.s.n.m , ubicada en la comuna de La Pintana, Provincia de Santiago, Región Metropolitana, Chile. El ensayo se realizó entre los meses de agosto y diciembre de 2013 en el invernadero y laboratorios del Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) dentro de la misma Facultad. El proyecto fue financiado por CONICYT, Proyecto Fondecyt N° 1120274.

### Materiales

Se utilizaron lechugas (*Lactuca sativa* L.), cultivares 'Kristine RZ' y 'Versai RZ'; ambos de tipo de hoja de roble ("Oak leaf"), verde y roja respectivamente (Figura 1).

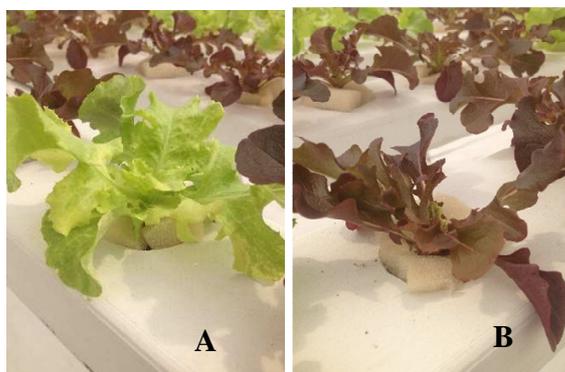


Figura 1. Cultivares de lechuga 'Kristine RZ' (A) y 'Versai RZ' (B).

### Método

#### Siembra

Previo a la siembra se realizó una prueba de germinación según las Normas ISTA (ISTA, 2007), del cual se obtuvieron un 96,7% para 'Kristine RZ' y un 100% para 'Versai RZ' (Apéndice 1, Cuadro 1).

La siembra se realizó a fines de otoño en bandejas termoformadas de 200 alveolos con un volumen de 12 mL/celda (Protekta®, Chile), con sustrato en relación 1:1 de perlita expandida A6 (Harbolite Chile Ltda., Chile) con lana de roca granulada (Agrolan®, El Volcán S.A., Chile). El riego aplicado desde siembra hasta 1ª hoja verdadera fue con agua potable sin solución nutritiva incorporada. Al cumplir el estado fenológico de 1ª hoja verdadera, el plantín se regó con una solución nutritiva Hoagland II-modificada (Hoagland y Arnon, 1950) diluida al 50% con un pH entre 5,5 y 5,8 medido con un potenciómetro (Hi99301, Hanna Instruments, EE.UU.).

### **Trasplante**

El trasplante se realizó cuando las lechugas alcanzaron el estado de 3ª a 4ª hoja verdadera a una mesa de NFT de 1,5x7 m, con 8 perfiles previamente perforados, con una densidad de 53 plantas·m<sup>-2</sup>, una pendiente de 2,5% y una altura de lámina de solución nutritiva de 0,005 m. Realizado el trasplante, se aplicó riego continuo con agua potable durante 5 días para disminuir el estrés del trasplante; 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%. Durante el cultivo se mantuvieron condiciones de pH entre 5,5 y 5,8 medido con un potenciómetro (Hi99301, Hanna Instruments, EE.UU.).

### **Aplicación de los tratamientos**

La aplicación de los tratamientos comenzó con una campaña de medición de radiación fotosintéticamente activa (PAR,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) con un medidor de radiación PAR (Fieldscout, Modelo 3415, Spectrum Technologies, Inc., Illinois, EE.UU.) (Apéndice 1, Cuadro 2). 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 correspondió al momento más cercano al punto de compensación luminosa de plantas de sol (20-30  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ); en el cual el flujo fotónico en el intercambio neto de la hoja es cero, igualándose las tasas de producción y consumo de CO<sub>2</sub> (Azcón-Bieto et al., 2008).

La radiación UV-B se aplicó con 13 lámparas de radiación UV (Q-Panel 313, Cleveland, EE.UU.), dispuestas en una estructura de acero de dimensiones de 1,5x1,8 m (Figura 2). Las lámparas fueron cubiertas con una mica de 0,11 mm (Socomish, Santiago, Chile) para evitar la emisión de cualquier otro tipo de radiación distinta a la radiación UV-B.

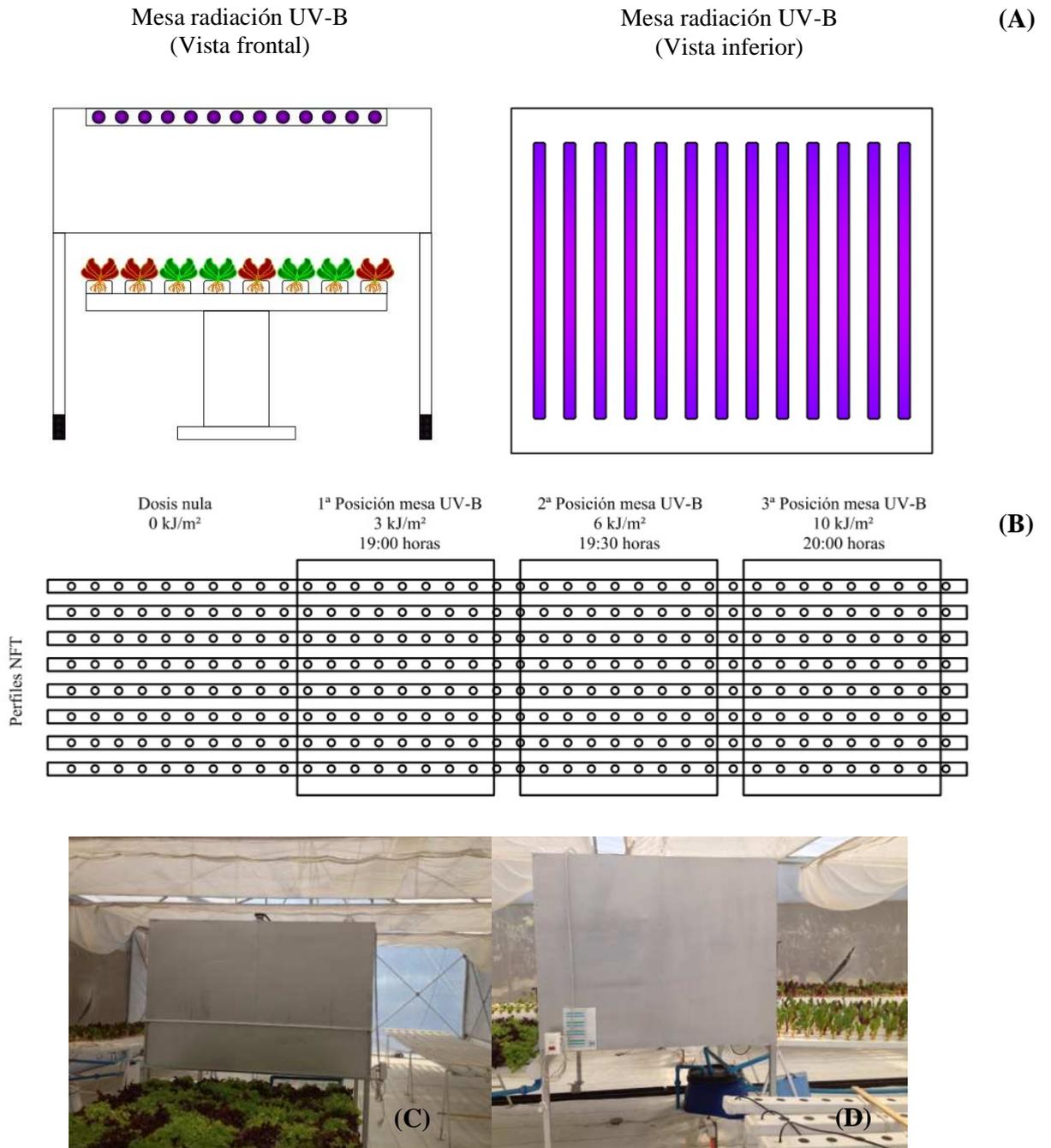


Figura 2: Diagrama de mesa de radiación UV-B con vista frontal e inferior (A); diagrama de aplicación de radiación UV-B sobre mesa NFT (B); fotografía de mesa de radiación UV-B con vista frontal (C) y vista lateral (D).

La radiación UV-B utilizada se aplicó con una misma altura entre las lechugas y lámparas, difiriendo en el encendido de estas últimas. Los tratamientos se aplicaron por 30 minutos, iniciando a las 19:00 horas por 10 días, con lo cual se obtuvieron las siguientes dosis totales de UV-B: UVB0 (0 kJ·m<sup>-2</sup>), UVB3 (3 kJ·m<sup>-2</sup>), UVB6 (6 kJ·m<sup>-2</sup>) y UVB10 (10 kJ·m<sup>-2</sup>) (Cuadro 1). Estas dosis se establecieron mediante ensayos previos realizados en el invernadero.

Cuadro 1. Dosis de aplicación de UV-B

Tratamientos	Cantidad lámparas encendidas	Dosis diaria UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Dosis total UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )
UVB0	0	0	0
UVB3	4	0,3	3
UVB6	8	0,6	6
UVB10	13	1,0	10

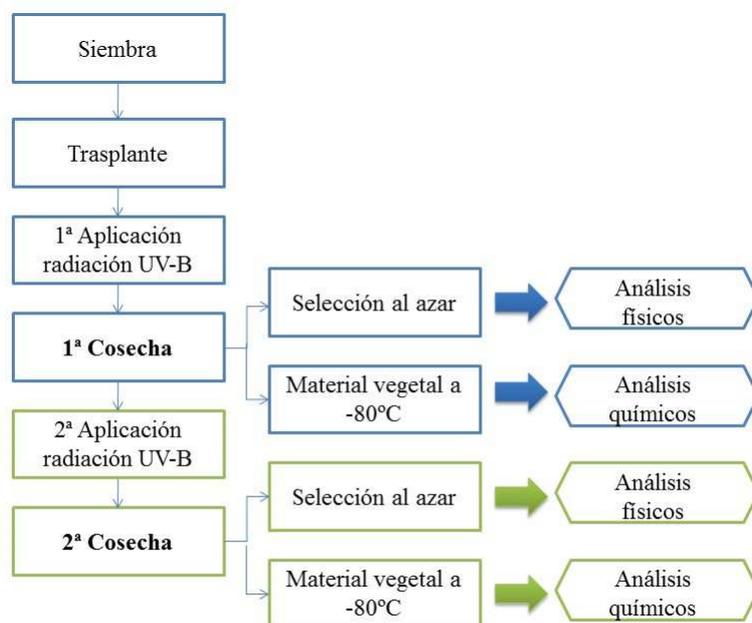
Las dosis antes descritas se aplicaron cuando las lechugas se encontraron en 5<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> hoja verdadera.

Las condiciones del invernadero para la época donde se mantuvieron las plantas fue de  $6,5 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$  de temperatura mínima diaria,  $37,0 \pm 8,2^{\circ}\text{C}$  de temperatura máxima diaria y  $21,7 \pm 4,7^{\circ}\text{C}$  de temperatura media diaria; y  $11,0 \pm 12,5\%$  de humedad relativa mínima diaria,  $88,1 \pm 5,6\%$  de humedad relativa máxima diaria y  $49,5 \pm 7,6\%$  de humedad relativa media diaria (Apéndice 1, Cuadro 3).

### Cosecha

Transcurridos 10 días de aplicación de dosis de UV-B y con lechugas en estado fenológico de 8<sup>a</sup> a 9<sup>a</sup> hoja verdadera, se cosecharon 6 a 7 hojas exteriores de cada planta, dejando dos hojas por planta. Luego de cosechadas las hojas “baby” se eligieron al azar 14 hojas por repetición; de éstas 10 se utilizaron para medir ancho máximo y largo de hoja, área foliar, materia fresca y seca y color de fondo de lámina. Las 4 hojas restantes se utilizaron para medir clorofila *a* y *b*, y carotenoides. El resto de material vegetal se congeló a  $-80^{\circ}\text{C}$  para las evaluaciones de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante.

El cultivo se mantuvo hasta encontrarse con 5 a 6 hojas completamente extendidas, momento en el cual se aplicó la radiación UV-B, con las mismas dosis y condiciones del periodo anterior. Finalmente, se cosecharon las hojas siguiendo la misma metodología descrita para la primera cosecha (Figura 3). El periodo transcurrido entre la primera y segunda cosecha fue de 19 días.



Periodo	Fecha	Temperatura media (°C)	Humedad relativa media (%)
Siembra a trasplante	10 al 20 de agosto	17,6 ± 3,6	54,4 ± 12,2
1º Periodo de crecimiento	21 de agosto a 4 de octubre	20,8 ± 4,6	48,7 ± 6,9
1ª Aplicación UV-B a 1ª cosecha	5 a 15 de octubre	25,9 ± 2,3	45,3 ± 3,0
2º Periodo de crecimiento	16 a 23 de octubre	25,1 ± 3,3	50,9 ± 2,7
2ª Aplicación UV-B a 2ª cosecha	24 de octubre a 3 de noviembre	23,3 ± 3,4	51,5 ± 7,5

Figura 3. Diagrama de flujo y condiciones de cultivo durante el estudio.

## Evaluaciones

### Análisis físicos

**Ancho máximo y largo de hoja (cm).** Sobre 10 hojas por repetición, escogidas al azar y representativas de cada tratamiento, se les midieron con una regla métrica el ancho máximo de hoja, representado como la mayor distancia perpendicular a la nervadura central de estas; el largo de hoja fue la distancia obtenida desde la base al ápice de estas sobre la nervadura central.

**Área foliar (cm<sup>2</sup>).** Se midió el área foliar de las mismas 10 hojas por repetición de la medición anterior, con un determinador de área foliar (Area Meter, LI-COR 3000, EE.UU.).

**Color.** Se midió el color de fondo a estas 10 hojas por repetición, en la parte adaxial del sector distal de la lámina, utilizando un colorímetro compacto triestímulo (Minolta Chroma meter, CR-300, Ramsey, NJ, EE.UU.) con una fuente luminante D65, un ángulo observado de 0° y calibrado con un estándar blanco, usando el sistema CIELab. Los valores de los parámetros se expresaron como tonalidad (Hue), croma (C\*) y luminosidad (L). Además, se midió el aspecto visual con una escala de bronceado de hojas de 5 niveles, en donde 1=sin bronceado, 2=leve, 3=moderado, 4=intenso y 5=muy intenso (Figura 4).



Figura 4. Escala visual de bronceado de hojas

**Materia fresca y seca de la parte aérea (g).** Se midió este parámetro en las mismas 10 hojas por repetición de las mediciones anteriores 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, correspondiente a masa seca. Obtenidos los valores de materia fresca y seca de las hojas se procesaron para obtener el porcentaje de materia seca por hoja con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje materia seca (\%)} = \frac{(\text{Materia seca} * 100)}{\text{Materia fresca}}$$

### Análisis químicos

**Concentración de clorofila a y b, y carotenoides (mg·g<sup>-1</sup>).** Para obtener el extracto se masó 0,4 gramos de muestra fresca (sector distal de la lámina) obtenidos de una muestra aleatoria de 4 hojas, siguiendo el método de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Se adicionaron 15 mL

de acetona al 80% y luego se trituro con Ultraturrax (IKA, T18 basic, Wilmington, EE.UU.) a 3500 rpm, hasta lograr una consistencia uniforme durante 30 s. Luego se filtró con 4 capas de gasa y se centrifugó (HERMLE Labortechnik, Z326K, Alemania) por 15 min a 3628,8 g<sub>n</sub>, rescatándose el sobrenadante. Se realizaron mediciones con un extracto puro en las longitudes de onda de 470, 646 y 663 nm. Para la cuantificación se utilizaron las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} Ca &= 12,25 A_{663} - 2,79 A_{646} \\ Cb &= 21,5 A_{646} - 5,1 A_{663} \\ C_{x+c} &= \frac{1000 A_{470} - 1,82 Ca - 85,02 Cb}{198} \end{aligned}$$

Siendo *Ca* el contenido de clorofila *a*; *Cb* contenido de clorofila *b*; y *C<sub>x+c</sub>* el contenido de carotenoides.

El valor resultante se expresó en µg L<sup>-1</sup>, por lo que se relacionó la cantidad de materia fresca utilizada en el extracto o dilución, según corresponda, para obtener el valor en mg·g<sup>-1</sup>.

**Extracción para compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante** Para obtener el extracto se masaron 5 gramos de muestra obtenidos de una muestra aleatoria de 10 hojas mantenidas a -80°C, siguiendo el método adaptado de Swain y Hills (1959). Se adicionaron 20 mL de metanol y luego se trituro en Ultraturrax (IKA, T18 basic, Wilmington, EE.UU.) a 3500 rpm, hasta lograr una consistencia uniforme durante 45 s. Se almacenó el homogenato refrigerado por 24 horas a 5°C. Transcurrido este tiempo se filtró con 4 capas de gasa y centrifugó (HERMLE Labortechnik, Z326K, Alemania) por 15 min a 3628,8 g<sub>n</sub>, rescatándose el sobrenadante.

Compuestos fenólicos totales (µg EAG·g<sup>-1</sup>): La determinación de compuestos fenólicos totales se llevó a cabo según el método colorimétrico propuesto por Singleton y Rossi (1965). En cada celda de la multiplaca de 96 pocillos, se agregaron 19,2 µL de extracto/blanco, junto con 29 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (en relación 1:8 con agua destilada). Se esperaron 3 minutos y se añadió 192 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1N. Después de 10 minutos, tiempo en el cual se estabilizó la reacción, se midió a 750 nm en un espectrofotómetro de microplacas (ASYS, UVM340, Austria). El contenido de compuestos fenólicos totales se calculó por medio de una curva de calibración realizada en base a una solución madre de ácido gálico 2,4·10<sup>-3</sup> M, con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup>= 0,9958. Los resultados se expresaron como µg de ácido gálico (EAG)·g<sup>-1</sup> de peso fresco.

Capacidad antioxidante por DPPH (µg ET·g<sup>-1</sup>): El protocolo de medición de DPPH (1,1-difenil2-picrilhidracil) se llevó a cabo según el método propuesto por Brand-Williams et al. (1995). En cada celda de la multiplaca se agregaron 21µL de muestra y 194 µL de solución DPPH (previamente ajustado a 1,1 de absorbancia a 515nm). Después de 2 horas, tiempo en el cual se estabilizó la reacción, se midió a 515 nm en un espectrofotómetro de microplacas (ASYS, UVM340, Austria). La capacidad antioxidante total fue calculada por medio de una curva de calibración realizada en base a una solución madre de trolox 1,6·10<sup>-3</sup> M, con un

coeficiente de determinación  $R^2= 0,9992$ . Los resultados se expresaron como  $\mu\text{g}$  de trolox (ET)· $\text{g}^{-1}$  de peso fresco.

Capacidad antioxidante por FRAP ( $\mu\text{g}$  ET· $\text{g}^{-1}$ ): El protocolo de FRAP (“Ferric reducing/antioxidant power) se llevó a cabo según el método propuesto por Benzie y Strain (1996). Antes de iniciar el análisis se preparó el reactivo FRAP (Buffer acetato 300 mmol/L con pH 3,5 + solución acuosa de cloruro férrico hexohidrato 20 mmol/L + 2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine (TPTZ) 10 mmol en HCl 40 mmol). Luego de esto, se agregó en cada celda de la multiplaca 6  $\mu\text{L}$  de muestra y 198 $\mu\text{L}$  de reactivo FRAP. Después de 30 minutos, tiempo en el cual se estabilizó la reacción, se midió la absorbancia a 593 nm en un espectrofotómetro de microplacas (ASYS, UVM340, Austria). La capacidad antioxidante total fue calculada por medio de una curva de calibración realizada en base a una solución madre de Trolox  $1,6 \cdot 10^{-3}$  M, con un coeficiente de determinación  $R^2= 0,9951$ . Los resultados se expresaron como  $\mu\text{g}$  de Trolox (ET)· $\text{g}^{-1}$  de peso fresco.

### Diseño de experimento

El diseño de experimento fue completamente aleatorizado con estructura factorial 4x2 con 3 repeticiones. El primer factor correspondió a las cuatro dosis de radiación UV-B; el segundo factor correspondió a los dos cultivares de lechuga (‘Kristine RZ’ y ‘Versäi RZ’). La unidad experimental fue de 10 plantas por repetición y por cada cultivar.

Cuadro 2. Tratamientos utilizados en ensayo.

Tratamiento	Cultivar	Radiación UV-B
1	‘Krisine RZ’	UVB0
2	‘Kristine RZ’	UVB3
3	‘Kristine RZ’	UVB6
4	‘Kristine RZ’	UVB10
5	‘Versäi RZ’	UVB0
6	‘Versäi RZ’	UVB3
7	‘Versäi RZ’	UVB6
8	‘Versäi RZ’	UVB10

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), con un nivel de confianza del 95%. Cuando se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, se usó la prueba de comparaciones de rangos múltiples de Tukey, con un nivel de significancia de 5%.

Los valores en porcentaje fueron corregidos previo a su análisis estadístico utilizando la siguiente fórmula:

$$N^{\circ}Corregido = \arcsen\sqrt{y/100}$$

Donde el valor de  $y$  correspondió a números entre 0 y 100; transformación de Bliss (Montgomery, 2005).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto sobre morfología y crecimiento de las hojas de lechuga “baby” hidropónicas

#### Efecto sobre el área foliar

**Ancho máximo y largo de hoja.** Los datos obtenidos de estas mediciones se procesaron para generar una caracterización de las hojas de lechuga cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’ cultivados en un sistema hidropónico y cosechados en dos periodos distintos (Cuadro 3). El cultivar ‘Kristine RZ’ presentó un promedio general de  $10,6 \pm 1,0$  cm de ancho máximo de hoja y  $10,4 \pm 0,8$  cm de largo de hoja. Por otro lado, el cultivar ‘Versaï RZ’ presentó  $9,2 \pm 0,4$  cm de ancho máximo de hoja, y  $10,7 \pm 0,5$  cm de largo de hoja.

Cuadro 3. Medición del ancho máximo (cm) y largo (cm) de hojas de lechuga cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’ cultivados en sistema hidropónico, y cosechados en dos periodos distintos.

Cultivar	Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1		Cosecha 2	
		Ancho máximo (cm)	Largo (cm)	Ancho máximo (cm)	Largo (cm)
'Kristine RZ'	0	11,8	a <sup>1</sup>	11,1	a
	3	11,0	ab	10,3	ab
	6	10,4	b	10,1	b
	10	8,8	c	8,7	c
'Versaï RZ'	0	9,4	a <sup>2</sup>	10,9	a
	3	9,8	a	11,1	a
	6	9,3	a	10,9	a
	10	9,0	a	10,3	a

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro del cultivar ‘Kristine RZ’ según test de Tukey (p-value < 0,05).

<sup>2</sup> Letras minúsculas cursivas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro del cultivar ‘Versaï RZ’ según test de Tukey (p-value < 0,05).

**Área foliar.** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 1), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versaï RZ’, en la primera cosecha.

En la primera cosecha, el cultivar ‘Kristine RZ’ presentó diferencias significativas en el área foliar entre las dosis de UV-B. El mayor área foliar se observó en 0 kJ·m<sup>-2</sup>, con un valor de 71,8 cm<sup>2</sup>, mientras que el menor área foliar se obtuvo en 10 kJ·m<sup>-2</sup> con 39,3 cm<sup>2</sup>. El cultivar ‘Versaï RZ’ no presentó diferencias significativas entre las dosis de radiación UV-B, observándose un promedio de 46,7 cm<sup>2</sup> (Figura 5).

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor área foliar por parte del cultivar 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en las dosis de radiación UV-B de 0 y 3 kJ·m<sup>-2</sup>; mientras que en 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> no hubo diferencias significativas entre los cultivares.

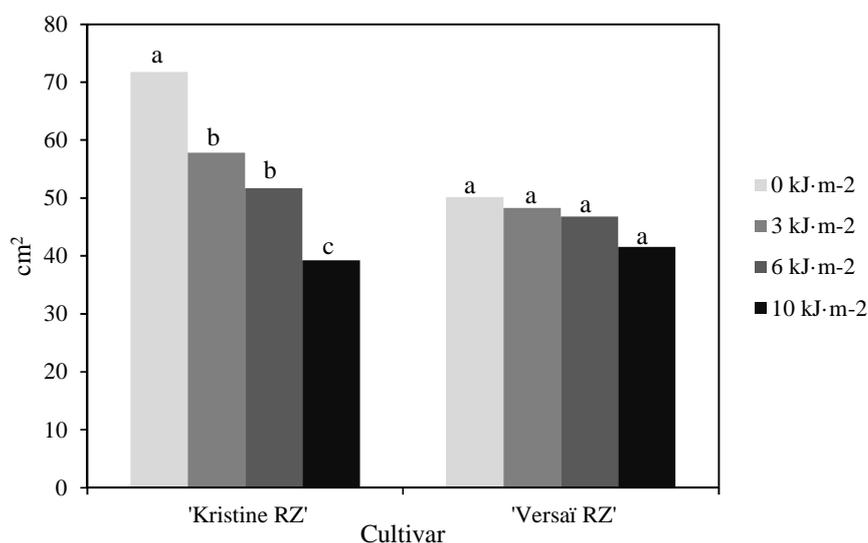


Figura 5. Efecto de la radiación UV-B sobre el área foliar (cm<sup>2</sup>) de las hojas de lechuga "baby" cvs. 'Kristine RZ' y 'Versai RZ' cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis de radiación UV-B por cultivar ( $p \leq 0,05$ ).

Luego, en la segunda cosecha las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B no presentaron una interacción significativa entre factores; solo se presentó efecto del cultivar por sí solo (Apéndice 2, Cuadro 1). Este se expresó en un mayor área foliar por parte del cultivar 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en todas las dosis de UV-B después de la segunda cosecha. Además, se observó una disminución del área foliar de las hojas de lechuga luego de la primera cosecha en ambos cultivares. 'Kristine RZ' disminuyó de 55,1 cm<sup>2</sup> como promedio de todas las dosis de UV-B en la primera cosecha a 47,4 cm<sup>2</sup> en la segunda cosecha. Por otro lado, 'Versai RZ' disminuyó de 46,7 cm<sup>2</sup> en la primera cosecha a 37,2 cm<sup>2</sup> en la segunda cosecha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variación de área foliar (cm<sup>2</sup>) entre distintos periodos de cosecha de hojas de lechugas hidropónicas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B.

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

El área foliar del cultivar 'Kristine RZ' disminuyó debido probablemente 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 debería a la división y expansión celular. La división celular es afectada por la acción oxidativa de la radiación UV-B sobre las tubulinas, y en la síntesis de histonas, ambas proteínas (Staxén et al., 1993; Logemann et al., 1995). Por otro lado, la expansión celular es afectada por el mayor entrecruzamiento en los enlaces formados entre carbohidratos y ácido ferúlico (Dale, 1988).

Toro (2008) observó resultados similares en plantines de lechuga, en donde a medida que aumentó la dosis de UV-B disminuyó el área foliar. También se encontraron resultados similares en especies de cereales, como arroz (Teramura et al., 1991), avena (Barnes et al., 1988), maíz (Faúndez, 2004), sorgo (Kataria y Guruprasad, 2012) y trigo (Pinto et al., 2000); y en otras especies de hortalizas, como pepino de ensalada (Parra, 2005) y poroto (Buzunariz, 1999).

El cultivar 'Versai RZ' no se afectó por la radiación UV-B, presentando una mayor resistencia que podría explicarse por una mayor cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales disminuirían el posible daño ocasionado por la radiación UV-B, actuando como primera barrera ante este tipo de estrés (Bieza y Lois, 2001; Tsormpatsidis et al., 2008; Kataria y Guruprasad, 2012; Verdaguer et al., 2012)

En la segunda cosecha, el área foliar no fue afectada por la radiación UV-B en ambos cultivares. Esta respuesta podría deberse a la edad de la planta y espesor de la hoja. Este último podría aumentar en presencia de radiación UV-B (Nybakken et al., 2004; Verdaguer et al., 2012). También se puede considerar como factor de resistencia al aumento en la concentración de compuestos fenólicos, los cuales podrían verse aumentados por el estrés producido por la cosecha de hojas (Pokkaew et al., 2013), entre otras.

### Efecto sobre la biomasa

**Materia fresca y materia seca.** Los datos obtenidos de estas mediciones se procesaron para generar una caracterización de lechugas cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivados en un sistema hidropónico y cosechados en dos periodos distintos (Cuadro 6). El cultivar ‘Kristine RZ’ presentó un promedio general de  $2,03 \pm 0,47$  g de materia fresca y  $0,20 \pm 0,06$  g de materia seca. Por otro lado, el cultivar ‘Versai RZ’ presentó  $1,47 \pm 0,33$  g de materia fresca, y  $0,13 \pm 0,01$  g de materia seca.

Cuadro 6. Medición de la materia fresca (g) y seca (g) de hojas de lechuga cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivados en sistema hidropónico, y cosechados en dos periodos distintos.

Cultivar	Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1		Cosecha 2					
		Materia fresca (g)	Materia seca (g)	Materia fresca (g)	Materia seca (g)				
‘Kristine RZ’	0	2,81	a	0,18	a	1,89	a	0,26	a
	3	2,35	b	0,16	ab	1,75	a	0,25	a
	6	2,52	b	0,15	b	1,63	a	0,24	a
	10	1,63	c	0,1	c	1,74	a	0,24	a
‘Versai RZ’	0	2,05	<i>a</i>	0,13	<i>a</i>	1,24	<i>a</i>	0,13	<i>a</i>
	3	1,8	<i>b</i>	0,12	<i>a</i>	1,08	<i>a</i>	0,12	<i>a</i>
	6	1,74	<i>bc</i>	0,12	<i>a</i>	1,15	<i>a</i>	0,13	<i>a</i>
	10	1,61	<i>c</i>	0,12	<i>a</i>	1,26	<i>a</i>	0,14	<i>a</i>

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro del cultivar ‘Kristine RZ’ según test de Tukey (p-value < 0,05).

<sup>1</sup> Letras minúsculas cursivas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro del cultivar ‘Versai RZ’ según test de Tukey (p-value < 0,05).

**Porcentaje de materia seca.** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 2), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’, en la primera cosecha.

En la primera cosecha, el cultivar ‘Kristine RZ’ no presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B, observándose un promedio de 6,4%. El cultivar ‘Versai RZ’ presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Los mayores valores se observaron en las dosis de 3 y 10 kJ·m<sup>-2</sup>, donde se obtuvieron valores similares de 7% y 7,5% de materia seca, respectivamente. Los menores valores se obtuvieron con 0 y 6 kJ·m<sup>-2</sup>, y fueron de 6,3% y 6,8% de materia seca, respectivamente (Figura 6).

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor porcentaje de materia seca por parte del cultivar ‘Versai RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’ en las dosis de UV-B de 3 y 10 kJ·m<sup>-2</sup>; mientras que en 0 y 6 kJ·m<sup>-2</sup> no hubo diferencias significativas entre los cultivares.

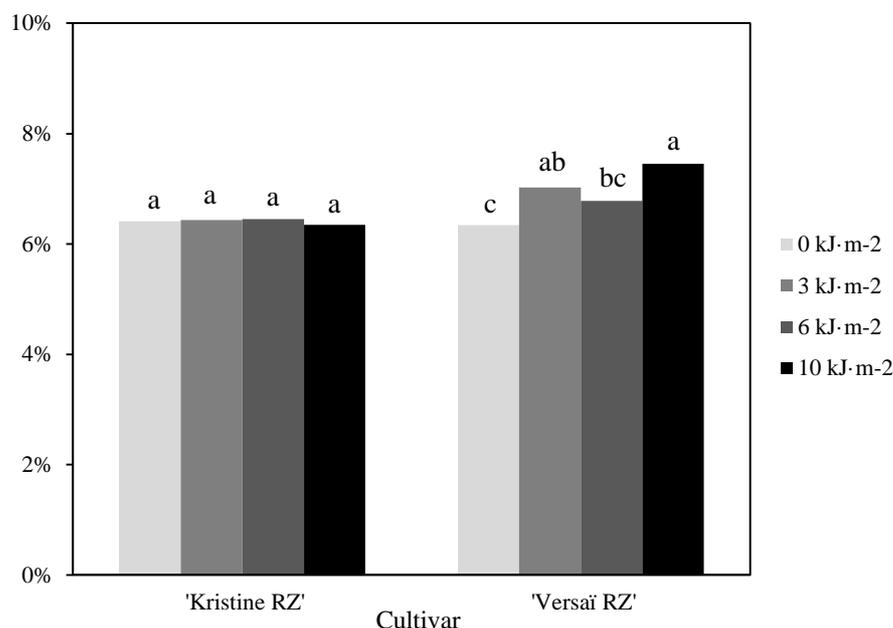


Figura 6. Efecto de la radiación UV-B sobre el porcentaje de materia seca (%) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis de radiación UV-B por cultivar ( $p \leq 0,05$ ).

En la segunda cosecha las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B no presentaron una interacción significativa entre factores, solo se presentó un efecto del cultivar por sí solo (Apéndice 2, cuadro 2). El cultivar ‘Kristine RZ’ obtuvo 14,1% de materia fresca significativamente mayor a ‘Versai RZ’ con 11,0%. Además, se observó un aumento del porcentaje de materia seca por efecto de la cosecha en ambos cultivares (Cuadro 7).

Cuadro 7. Variación del porcentaje de materia seca (%) entre distintos periodos de cosecha de hojas de lechugas hidropónicas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B.

Cultivar	Relación materia seca/materia fresca (%)	
	Cosecha 1	Cosecha 2
'Kristine RZ'	6,4 ± 0,0	14,1 ± 0,3
'Versai RZ'	6,9 ± 0,5	11,0 ± 0,2

En investigaciones previas se indica que existe una disminución de la materia fresca en especies vegetales como posible 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, debido a una menor capacidad de fotosíntesis de las plantas (Kataria y Guruprasad,

2012), debido al efecto de la radiación UV-B sobre el fotosistema II (PSII) dañando el segundo segmento transmembranal de la proteína D1 presente en el PSII (Bornman, 1989; Barbato et al., 1995). Kataria y Guruprasad (2012) relacionaron la disminución de biomasa en sorgo con una reducción en la cantidad de clorofilas.

Se observó una disminución de la biomasa tras la aplicación de UV-B durante el cultivo en poroto (Buzunariz, 1999), lechuga (Toro, 2008), pak choi (Harbaum-Piayda et al., 2010) y sorgo (Kataria y Guruprasad, 2012).

En estudios similares no citan el valor porcentual de la biomasa de plantas luego de aplicación de radiación UV-B. Dentro del presente estudio se observó un aumento de este valor en 'Versai RZ', el cual se puede relacionar con un aumento de compuestos, los cuales no fueron estudiados, en las hojas de lechuga.

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 (Caldwell et al., 1983; Kataria y Guruprasad, 2012; Pokkaew et al., 2013).

El aumento del porcentaje de materia seca por efecto de la cosecha puede ser atribuido a la disminución de cantidad de agua en las hojas de lechuga a causa de la radiación UV-B (Revilla y Zarra, 2008), y también a un aumento en la cantidad de compuestos debido al efecto del corte realizado en estas (Pokkaew et al., 2013).

### **Efecto sobre el color**

**Tono (Hue).** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 3), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. 'Kristine RZ' y 'Versai RZ', en ambas cosechas.

En la primera cosecha, el cultivar 'Kristine RZ' no presentó diferencias significativas en el tono entre las dosis de UV-B, observándose un valor promedio de 121,0. En 'Versai RZ' hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 0 y 6 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente mayores de 72,1 y 72,4, respectivamente. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 3 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> con 67,0 y 67,5, respectivamente (Figura 7).

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor valor de tono por parte de 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en todas las dosis de radiación UV-B.

En la segunda cosecha, 'Kristine RZ' no presentó diferencias significativas en el tono entre las dosis UV-B, observándose un valor promedio de 117,0. En 'Versai RZ' hubo diferencias significativas entre las dosis UV-B. La dosis de 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentó el mayor valor de 37,7. Mientras que el valor más bajo fue obtenido por la dosis de 3 kJ·m<sup>-2</sup> con 27,0 (Figura 7).

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor valor de tono por parte de 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en todas las dosis de radiación UV-B.

**Croma (C\*).** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 4), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. 'Kristine RZ' y 'Versai RZ', en ambas cosechas.

En la primera cosecha, el cultivar 'Kristine RZ' presentó diferencias significativas en la croma entre las dosis de UV-B. Las dosis de 0 y 3 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron valores significativamente mayores de 41,3 y 40,1, respectivamente. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> con 38,4 y 37,7, respectivamente. En 'Versai RZ' no hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B, observándose un valor promedio de 8,2 (Figura 7)

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor valor de croma por parte de 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en todas las dosis de UV-B en la primera cosecha.

En la segunda cosecha, el cultivar 'Kristine RZ' presentó diferencias significativas en la croma entre las dosis de UV-B. Las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente menores de 45,4 y 44,1, respectivamente. En 'Versai RZ' hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 0, 3 y 6 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente menores de 7,3; 8,0 y 8,6, respectivamente (Figura 7)

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor valor de croma por parte de ‘Kristine RZ’ respecto a ‘Versai RZ’ en todas las dosis de UV-B en la segunda cosecha.

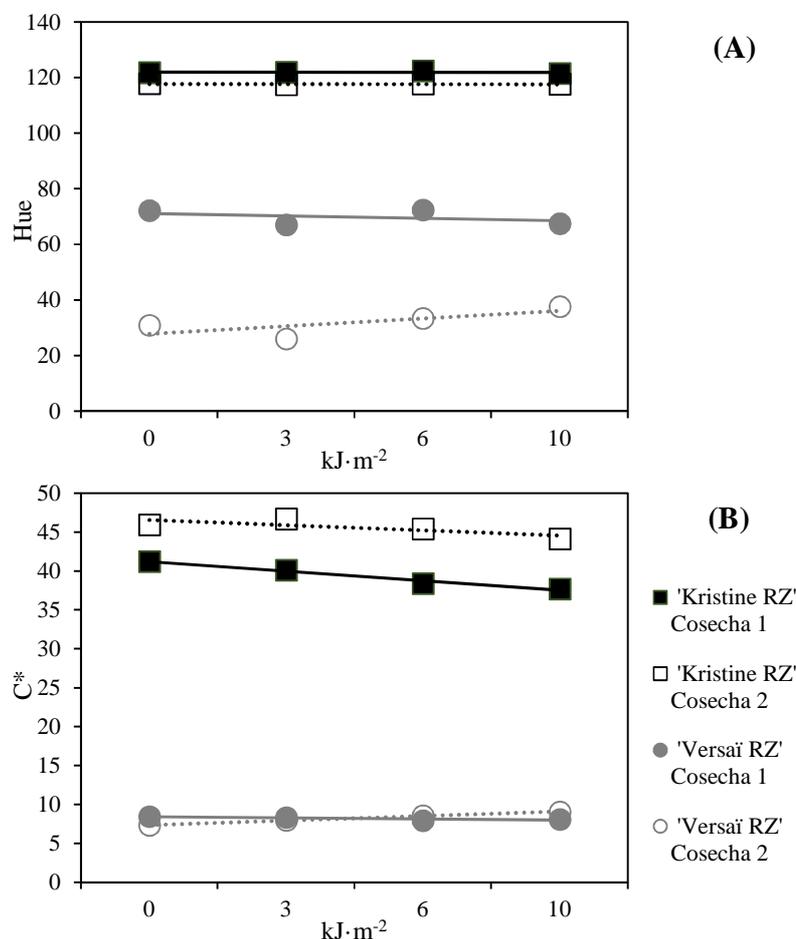


Figura 7. Efecto de la radiación UV-B sobre el tono (Hue) (A) y croma (C\*) (B) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en ambas cosecha.

**Luminosidad (L).** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B no se presentó una interacción significativa entre factores; solo se presentó efecto de la radiación UV-B en la primera cosecha, y efecto del cultivar en ambas cosechas (Apéndice 2, Cuadro 5).

En la primera cosecha, la radiación UV-B presentó diferencias significativas en ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’. Las dosis de 3, 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente menores de 46,8; 45,5 y 45,1, respectivamente (Figura 8).

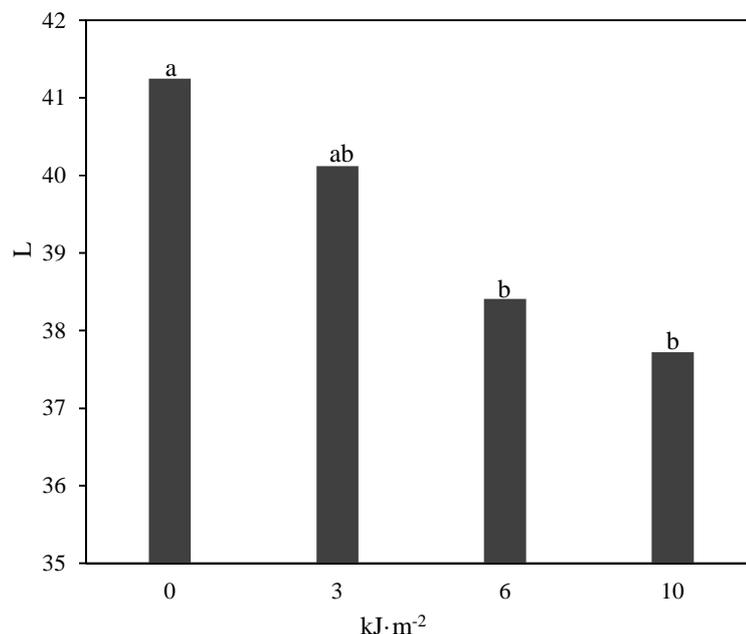


Figura 8. Efecto de la radiación UV-B sobre la luminosidad (L) de las hojas de lechuga “baby” cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre dosis de radiación UV-B ( $p \leq 0,05$ ).

El efecto significativo del cultivar se expresó en un mayor valor de luminosidad por parte de ‘Kristine RZ’ respecto a ‘Versaï RZ’ en todas las dosis de UV-B en ambas cosecha (Apéndice 2, Cuadro 5).

**Aspecto visual.** En la primera cosecha, la apariencia visual de las hojas de lechuga mostró diferencias por dosis de radiación UV-B. En ‘Kristine RZ’ la dosis de 0 kJ·m<sup>-2</sup> no presentó síntomas de bronceado en sus hojas. Luego, las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron síntomas de bronceado de hojas con un grado de intensidad de 3 a 4 (moderado a intenso) con una superficie de daño menor al 5%. Por otro lado, en ‘Versaï RZ’ las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> mostraron síntomas de bronceado de hojas con un grado de intensidad de 2 a 3 (leve a moderado) con una superficie de daño menor al 5%.

En la segunda cosecha la apariencia visual de las hojas de lechuga no presentó diferencias por dosis de UV-B, obteniendo un grado de intensidad promedio de 1 a 2 (sin bronceado a leve) en ambos cultivares

Si bien el aspecto visual de las hojas fue afectado por la aplicación de la radiación UV-B, el tono y croma de las hojas no presentó diferencias significativas entre las distintas dosis de UV-B. La radiación UV-B tuvo un efecto significativo sobre los valores de luminosidad de

las hojas disminuyendo su valor a medida que aumentó la dosis de radiación. La medición de color es el atributo principal que afecta la percepción del consumidor de lo que es calidad (Francis, 1995). En este aspecto un panel entrenado por Martínez-Sánchez et al. (2011) determinó que existe mejor calidad visual en lechugas de hoja del tipo “baby” respecto a una lechuga normal, adjuntando la necesidad del consumidor por hojas más suaves, de distintas formas y colores, aumentando el demanda de productos de hoja “baby”.

### **Efecto sobre los compuestos de las hojas de lechuga “baby” hidropónicas**

#### **Efecto sobre pigmentos foliares**

**Clorofila *a*.** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 6), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’, en ambas cosechas.

En la primera cosecha, el cultivar ‘Kristine RZ’ presentó diferencias significativas en la cantidad de clorofila *a* entre las dosis de UV-B. Las dosis de 0 y 3 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente mayores en concentración de clorofila *a* de 346,5 y 328,3 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> con 278,2 y 295,2 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. En ‘Versai RZ’ no hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B, alcanzando un valor promedio de 35,7 mg·g<sup>-1</sup>. (Figura 9).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de clorofila *a* en ‘Kristine RZ’ respecto a ‘Versai RZ’ en todas las dosis de radiación UV-B.

En la segunda cosecha, ‘Kristine RZ’ no presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B, observándose un valor promedio de 152,1 mg·g<sup>-1</sup>. El cultivar ‘Versai RZ’ presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron las concentraciones significativamente mayores de 289,6 y 271,8 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que las concentraciones significativamente menores fueron obtenidas por las dosis 0 y 3 kJ·m<sup>-2</sup> con valores de 231,5 y 192,5 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 9).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de clorofila *a* por parte de ‘Versai RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’ en las dosis de UV-B de 0, 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup>, mientras que en 3 kJ·m<sup>-2</sup> no hubo diferencias significativas.

**Clorofila *b*.** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 7), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’, en la primera cosecha.

En la primera cosecha, el cultivar 'Kristine RZ' presentó diferencias significativas en la concentración de clorofila *b* entre las dosis de UV-B. La dosis de 3 kJ·m<sup>-2</sup> presentó el valor significativamente mayor de 147,1 mg·g<sup>-1</sup>. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 0, 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> con 118,0; 113,8 y 112,0 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. En 'Versai RZ' hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 3 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente mayores de 21,1 y 26,2 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 0, 3 y 6 kJ·m<sup>-2</sup> con 18,4; 21,1 y 19,3 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 9).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de clorofila *b* por parte de 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en todas las dosis de UV-B.

En la segunda cosecha la concentración de clorofila *b* de las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B no presentaron una interacción significativa entre factores; solo se presentó efecto del cultivar por sí solo (Apéndice 2, Cuadro 7). Este se expresó en una mayor concentración de clorofila *b* por parte del cultivar 'Versai RZ' respecto a 'Kristine RZ' en todas las dosis de UV-B (Figura 9).

**Carotenoides.** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre factores (Apéndice 2, Cuadro 8), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. 'Kristine RZ' y 'Versai RZ', en ambas cosechas.

En la primera cosecha, el cultivar 'Kristine RZ' presentó diferencias significativas en la concentración de carotenoides entre las dosis de UV-B. Las dosis de 0 y 3 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente mayores de 102,6 y 99,25 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que el valor más bajo fue obtenido por la dosis de 10 kJ·m<sup>-2</sup> con 66,9 mg·g<sup>-1</sup>. En 'Versai RZ' no hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B, observándose un valor promedio de 10,7 mg·g<sup>-1</sup> (Figura 9).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de carotenoides por parte de 'Kristine RZ' respecto a 'Versai RZ' en todas las dosis de UV-B.

En la segunda cosecha, el cultivar 'Kristine RZ' no presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B, observándose un valor promedio de 43,8 mg g<sup>-1</sup>. En 'Versai RZ' hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 6 y 10 kJ·m<sup>-2</sup> presentaron los valores significativamente mayores de 102,9 y 92,8 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que los valores más bajos fueron obtenidos por las dosis de 0 y 3 kJ·m<sup>-2</sup> con 76,1 y 67,3 mg·g<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 9).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de carotenoides por parte de 'Versai RZ' respecto a 'Kristine RZ' en todas las dosis de UV-B.

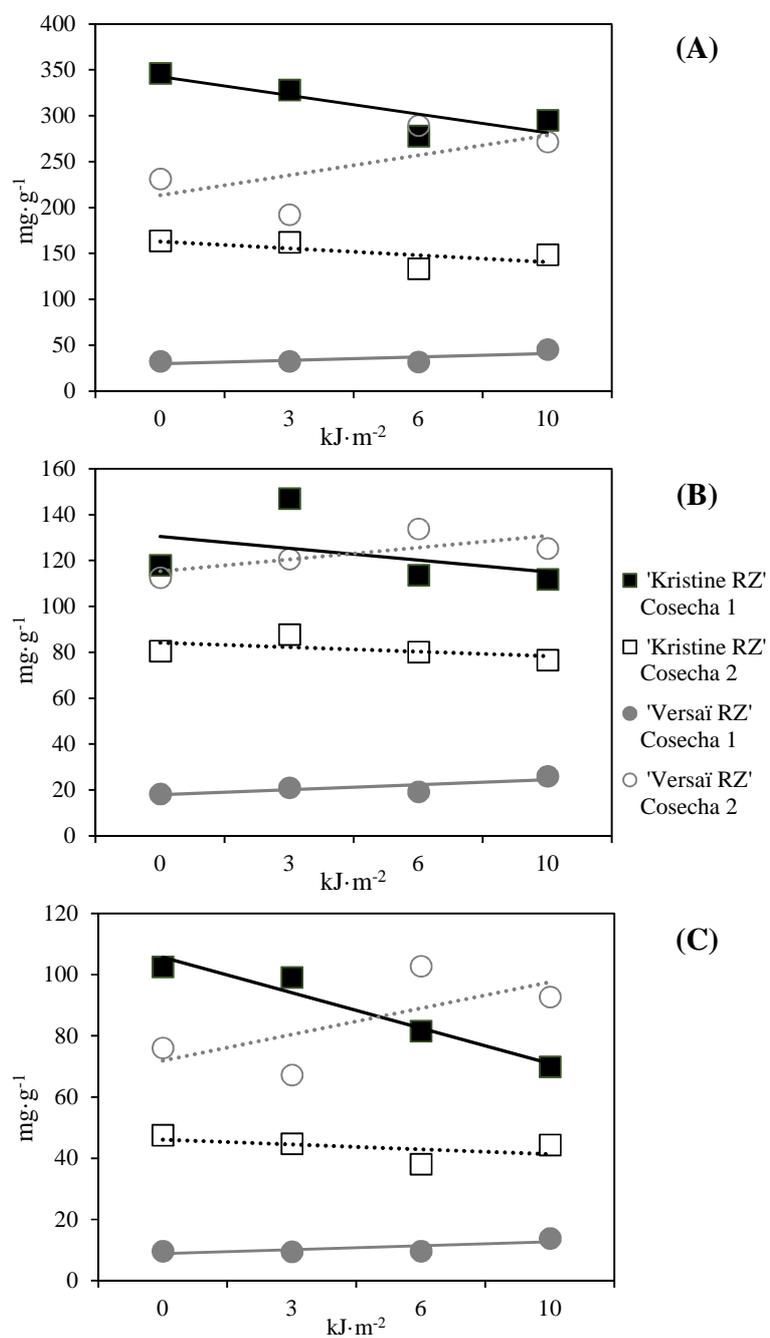


Figura 9. Efecto de la radiación UV-B sobre la cantidad de clorofila a (mg g<sup>-1</sup>) (A), clorofila b (mg g<sup>-1</sup>) (B) y carotenoides (mg g<sup>-1</sup>) (C) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en ambas cosecha.

La concentración de clorofilas y carotenoides presentes en las hojas tras la aplicación de UV-B varió según cultivar. En 'Kristine RZ' disminuyó su concentración de clorofila *a* y *b*, y carotenoides; en cambio en 'Versai RZ' aumentaron los mismos. En literatura se pueden obtener valores contradictorios, debido principalmente por diferencias metodológicas en la aplicación de UV-B, radiación PAR y otros factores ambientales (Jansen et al., 1998). También influye la parte de la planta utilizada y el estado de madurez a cosecha del producto (Rodríguez-Amaya et al., 1993) y los cambios a niveles fitoquímicos fenólicos (Caldwell y Britz, 2006).

La disminución en la concentración de clorofila se debería principalmente al efecto que ejerce la radiación UV-B sobre la proteína D1 presente en el fotosistema II (PSII), la cual provocaría una desorganización de los centros de reacción (Barbato et al., 2000). Por otro lado, el efecto de aumento de la concentración de clorofila presente en el cultivar 'Versai RZ' se podría deber a un proceso de aclimatación a la radiación UV-B provocado posiblemente por el aumento de compuestos fenólicos. Estos compuestos evitarían la degradación de las proteínas D1 y D2 presentes en el PSII estabilizando y aumentando la síntesis de clorofilas (Jansen et al., 1998; Caldwell y Britz, 2006). Según Cechin et al. (2007), en maravillas tratadas con radiación UV-B se observó una menor degradación de clorofila *b* respecto a la clorofila *a*, explicando este efecto como una resistencia por parte de la clorofila *b* ante este tipo de estrés. Esta respuesta es similar a lo encontrado en el presente estudio, en donde la concentración de clorofila *b* no se afectó por la radiación UV-B en la segunda cosecha.

La cantidad de carotenoides presentes en las hojas tras la aplicación de UV-B se afectó positivamente en 'Versai RZ'. Su aumento se debe principalmente al rol fotoprotector que cumple ante la radiación UV-B, implicado directamente en la protección de fotosistemas de la planta (Middleton y Teramura, 1993; Carrasco, 2009; Salama et al., 2011). Los carotenoides pueden actuar como antioxidantes lipofílicos, reduciendo la incidencia de cataratas y degeneración macular, por lo cual estos compuestos son de importancia al momento de aumentar la funcionalidad de un producto vegetal (Moeller et al., 2000). Además, cabe mencionar que las plantas hidropónicas poseen una mayor cantidad de nutrientes y carotenoides respecto a un similar en campo (Kimura y Rodríguez-Amaya, 2003).

### Efecto sobre compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante

**Compuestos fenólicos totales.** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B no se presentó una interacción significativa entre factores, solo se presentó efecto del cultivar, en la primera cosecha (Apéndice 2, Cuadro 9).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de compuestos fenólicos totales por parte de ‘Versai RZ’ con un valor promedio de 149,3  $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ , respecto a ‘Kristine RZ’ con un valor promedio de 29,6  $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$  (Figura 10).

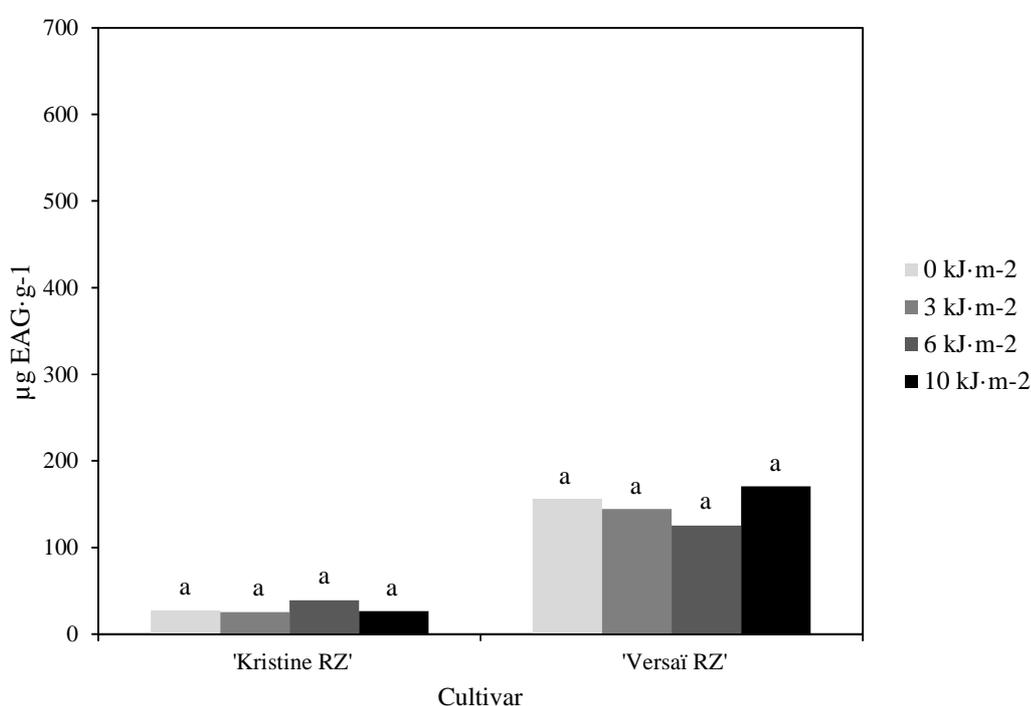


Figura 10. Efecto de la radiación UV-B sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales ( $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis de radiación por cultivar ( $p \leq 0,05$ ).

En la segunda cosecha, las hojas expuestas a distintas dosis de UV-B no presentaron una interacción significativa entre factores, solo se presentó efecto de la radiación UV-B y efecto del cultivar por separado (Apéndice 2, Cuadro 9).

El efecto significativo de la radiación UV-B se expresó en valores significativamente mayores para las dosis de 3, 6 y 10  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  con 378,6; 333,1 y 394,8  $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ , independiente del cultivar (Figura 11).

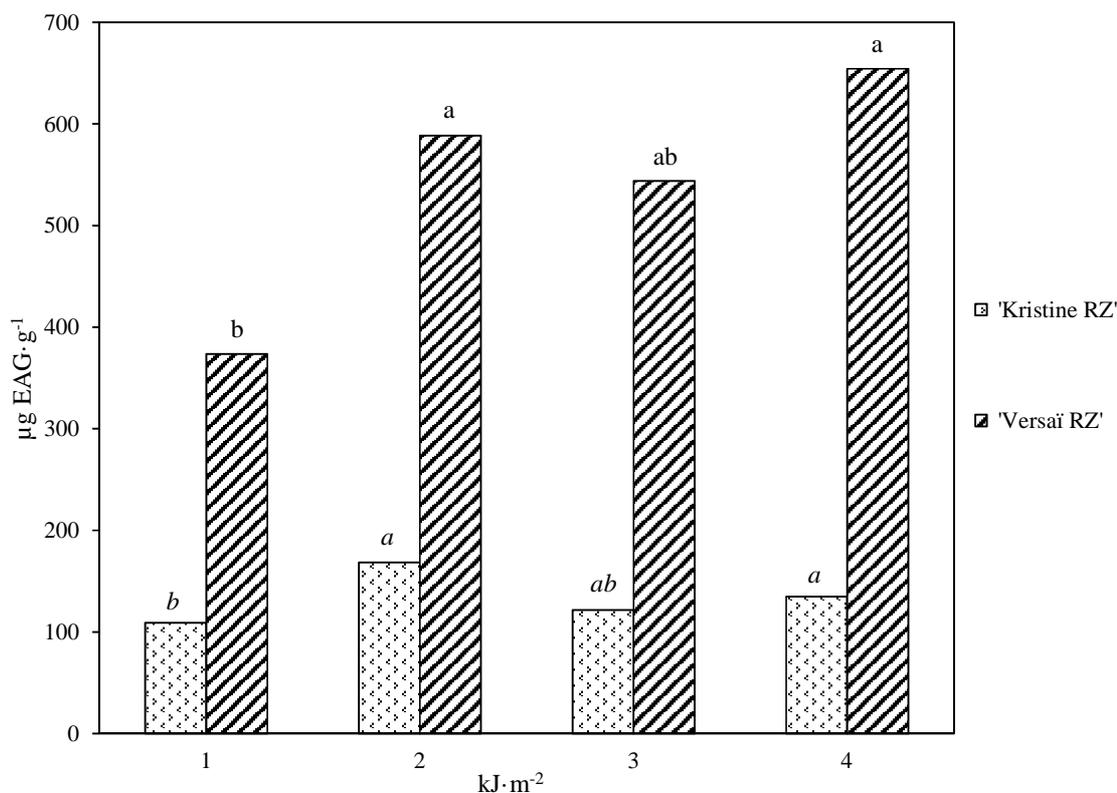


Figura 11. Efecto de la radiación UV-B sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales ( $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga cultivadas en un sistema hidropónico en la segunda cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis de radiación ( $p \leq 0,05$ ).

En la segunda cosecha, el efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor concentración de compuestos fenólicos por parte de 'Versai RZ' respecto a 'Kristine RZ' en todas las dosis de UV-B. Además, se observó un aumento en la concentración de compuestos fenólicos totales por efecto de la cosecha. En 'Kristine RZ' aumentó de  $29,6 \mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$  como promedio de todas las dosis de UV-B en la primera cosecha a  $133,6 \mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$  en la segunda cosecha. Por otro lado, en 'Versai RZ' aumentó de  $149,3 \mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$  en la primera cosecha a  $540,3 \mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$  en la segunda cosecha (Figura 12).

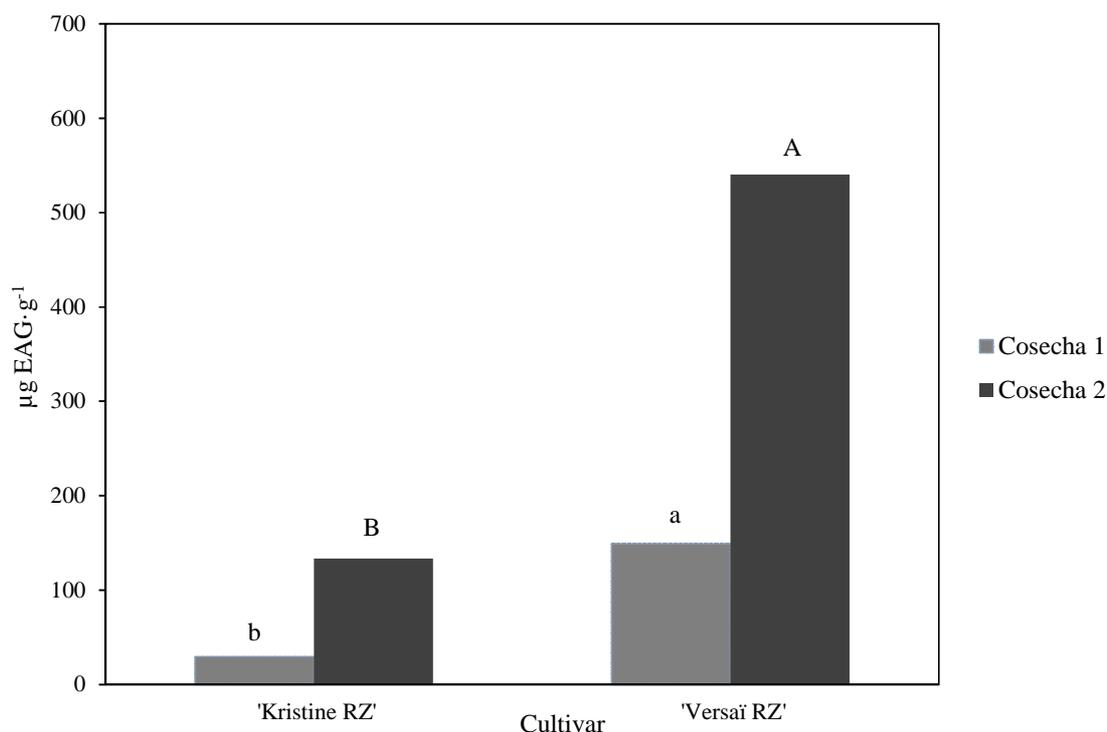


Figura 12. Efecto del cultivar sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales ( $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico y cosechadas en diferentes periodos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en primera cosecha; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en segunda cosecha ( $p \leq 0,05$ ).

**Capacidad antioxidante (DPPH).** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B se presentó una interacción significativa entre ambos factores (Apéndice 2, Cuadro 10), atribuibles al efecto ejercido por la UV-B sobre los cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’, en ambas cosechas.

En la primera cosecha, el cultivar ‘Kristine RZ’ no presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B, observándose un valor promedio de  $44,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ . En ‘Versai RZ’ hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 0 y  $10 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  presentaron los valores significativamente mayores de  $174,6$  y  $188,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 3 y  $6 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  con  $132,4$  y  $115,5 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 13).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor capacidad antioxidante por parte de ‘Versai RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’ en todas las dosis de UV-B.

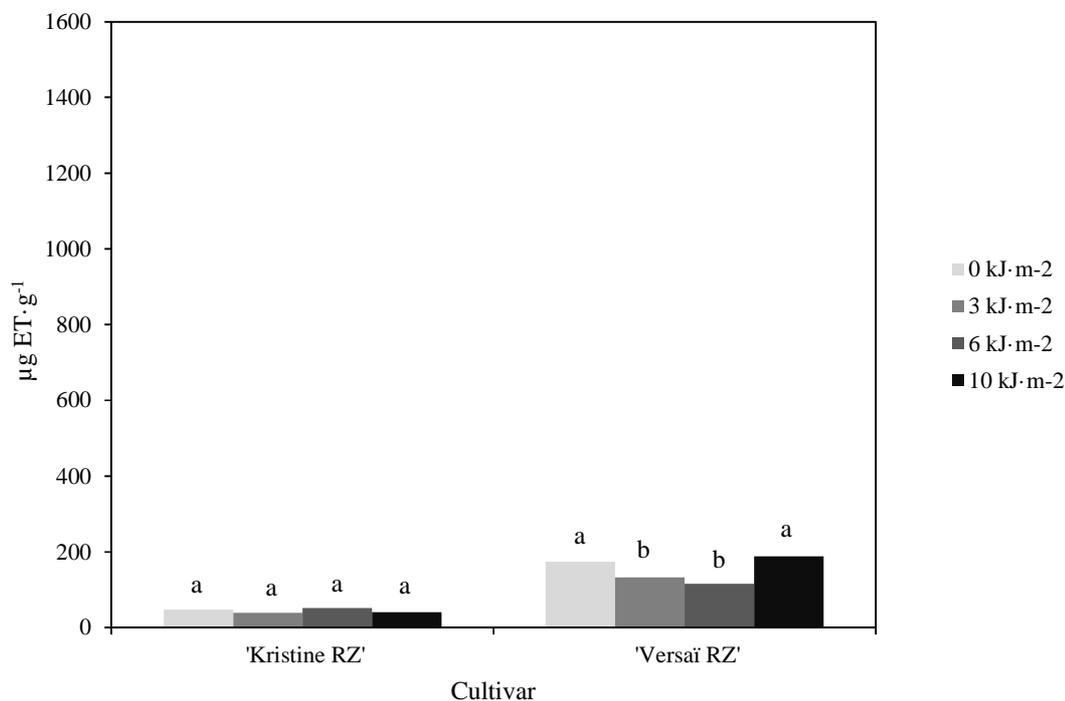


Figura 13. Efecto de la radiación UV-B sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ( $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en la primera cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis de radiación por cultivar ( $p \leq 0,05$ ).

En la segunda cosecha, el cultivar ‘Kristine RZ’ presentó diferencias significativas entre las dosis de UV-B. Las dosis de 3 y 10  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  presentaron los valores significativamente mayores de 297,8 y 331,9  $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente. Mientras que los valores significativamente más bajos fueron obtenidos por las dosis de 0 y 6  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  con 260,1 y 205,8  $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente. En ‘Versai RZ’ hubo diferencias significativas entre las dosis de UV-B. La dosis de 3  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  presentó el valor significativamente mayor de 1521,6  $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ . Mientras que el valor significativamente menor fue obtenido por la dosis de 0  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  con 872,8  $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ . Cabe mencionar que se observó un aumento de la capacidad antioxidante respecto al control en las dosis de UV-B de 3, 6 y 10  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  con incrementos porcentuales de 74%, 28% y 63%, respectivamente (Figura 14).

El efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor capacidad antioxidante por parte de ‘Versai RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’ en todas las dosis de UV-B.

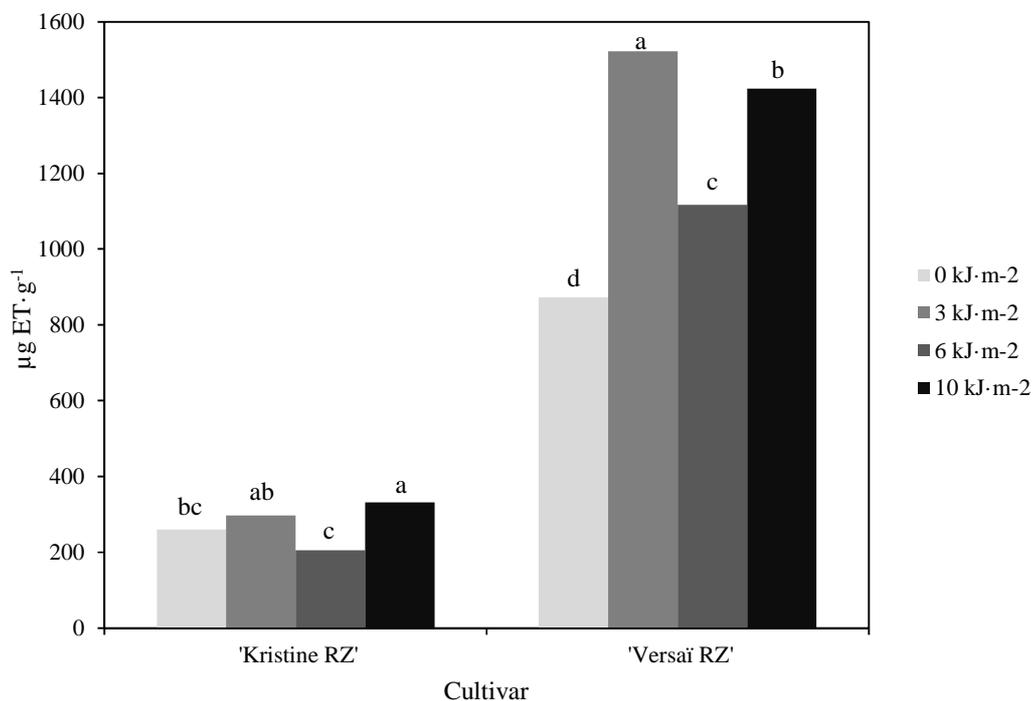


Figura 14. Efecto de la radiación UV-B sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ( $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico en la segunda cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis de radiación por cultivar ( $p \leq 0,05$ ).

Además, se observó un aumento en la capacidad antioxidante por efecto de la cosecha. En ‘Kristine RZ’ aumentó de  $44,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$  como promedio de todas las dosis de UV-B en la primera cosecha a  $273,9 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$  en la segunda cosecha. Por otro lado, en ‘Versai 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 cosecha (Figura 15).

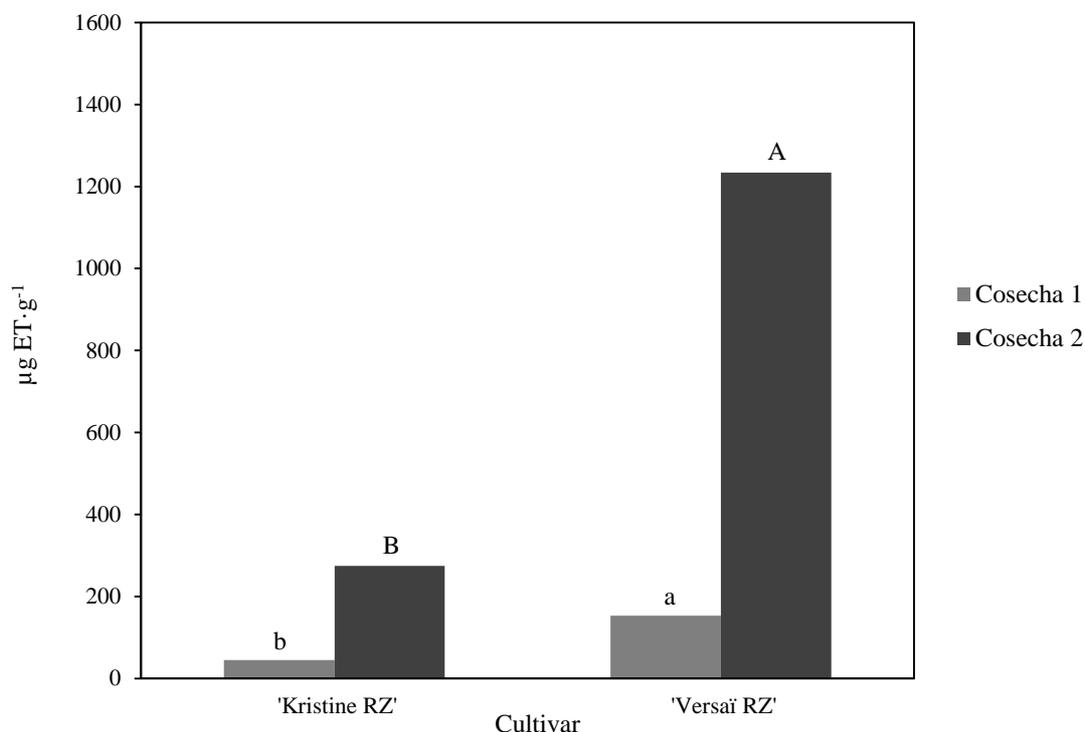


Figura 15. Efecto del cultivar sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ( $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico y cosechadas en diferentes periodos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en primera cosecha; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre cultivares en segunda cosecha ( $p \leq 0,05$ ).

**Capacidad antioxidante (FRAP).** En las hojas expuestas a distintas dosis de radiación UV-B no se presentó interacción significativas entre ambos factores, solo se presentó efecto del cultivar por sí solo en ambas cosechas (Apéndice 2, Cuadro 11).

En ambas cosecha, el efecto significativo del cultivar se expresó en una mayor capacidad antioxidante por parte del cultivar ‘Versai RZ’ respecto a ‘Kristine RZ’. Además, se observó un aumento en la capacidad antioxidante por efecto de la cosecha. En ‘Kristine RZ’ aumentó de  $22,6 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$  como promedio de todas las dosis de UV-B en la primera cosecha a  $146,9 \mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$  en la segunda cosecha. Por otro lado, en ‘Versai 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 cosecha (Figura 16).

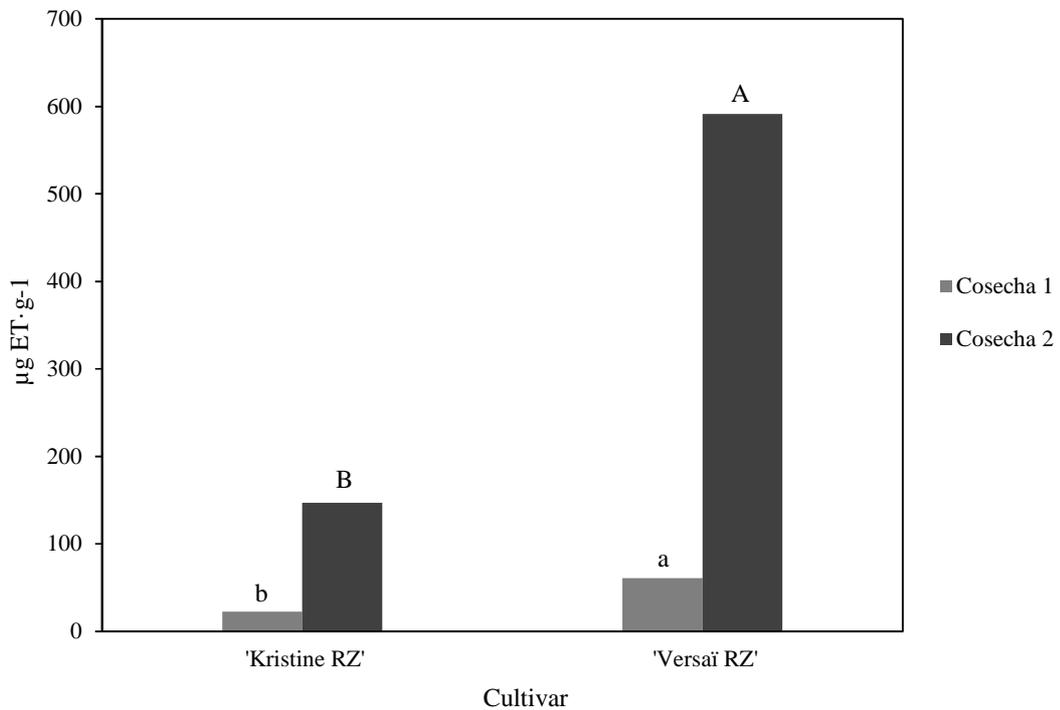


Figura 16. Efecto del cultivar sobre la capacidad antioxidante medida por método FRAP ( $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de las hojas de lechuga “baby” cvs. ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’ cultivadas en un sistema hidropónico y cosechadas en diferentes periodos. Letras minúsculas distintas indican diferencias 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 (Castagna et al., 2012; 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 otro tipos de estrés, como la radiación UV-B (Schmitz-Hoerner & Weissenböck, 2003; Carrasco, 2009; 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). El compuesto fenólico principal en hojas de lechuga de color verde es el ácido cafeico, mientras que en lechugas de color rojo son los flavonoles (Oh *et al.*, 2009; Khanam *et al.*, 2012; Martínez-Sánchez *et al.*, 2011).

En el presente estudio se observó un aumento en la cantidad de compuestos fenólicos totales luego de la cosecha. Este ámbito fue estudiado por Pokkaew *et al.* (2013), quienes observaron un aumento en la cantidad de compuestos fenólicos totales luego de una cosecha de hojas y tallos de maní (*Arachis hypogaea* L.), haciéndose más notoria esta diferencia en sistema hidropónico respecto a su símil en campo.

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.*, 2010), limón (Interdonato *et al.*, 2011), zanahoria (Du *et al.*, 2012), entre otros.

La determinación de actividad antioxidante se midió mediante dos métodos en el presente ensayo: i) por método DPPH (1,1-difenil2-picrilhidracil), en el cual para cuantificar la actividad antioxidante del producto se determina el grado de decoloración que provocan sus componentes a una solución metanólica de DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995; Fernández-Pachón *et al.*, 2006; Mesa-Vanegas *et al.*, 2010); ii) por método FRAP (“Ferric reducing/antioxidant power”), en el cual para cuantificar la actividad antioxidante se determina la capacidad de la muestra para reducir el hierro férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) hasta la forma ferrosa ( $\text{Fe}^{+2}$ ), presente en el complejo TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) (Benzie y Strain, 1996; Fernández-Pachón *et al.*, 2006; Mesa-Vanegas *et al.*, 2010). Cabe mencionar que para una medición completa de actividad antioxidante se deben combinar dos métodos, uno basado en la capacidad de captación de radicales libres (DPPH) y otro en la capacidad de reducción de metales (FRAP), y aunque ambos métodos se puedan expresar en equivalentes de trolox (ET), los valores no son comparables entre sí, al estar basado en reacciones diferentes (Pérez-Jiménez y Saura-Calixto, 2007).

## CONCLUSIONES

De la investigación realizada se desprenden las siguientes conclusiones:

- Las dosis de UV-B aplicadas en la primera cosecha no afectarían la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las hojas, aunque dosis más altas dañarían el aspecto visual generando un bronceado en las hojas. En la segunda cosecha, las hojas se afectarían por las dosis de UV-B aumentando la concentración de compuestos fenólicos totales en un 30% en el cultivar verde y en 60% en el rojo; y un aumento en la capacidad antioxidante en un 21% en el cultivar verde y en 55% en el rojo.
- El cultivar influye en la concentración de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de las hojas. Los cultivares de color rojo presentan valores significativamente mayores que los de color verde.
- El momento de cosecha afecta la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las hojas. La segunda cosecha presentó valores significativamente mayores que la primera cosecha, probablemente debido al estrés causado por el corte de las hojas.

**BIBLIOGRAFÍA**

Amodio, M., A. Derossi and G. Colelli. 2014, april. Modeling phenolic content during storage of cut fruit and vegetables: A consecutive reaction mechanism. *Journal of Food Engineering* 140:1-8.

Azcón-Bieto, J., I. Fleck, X. Aranda y N. Gómez-Casanovas. 2008. Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. (cap. 13, pp. 247-263). En: Azcón-Bieto, M. y M. Talón. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2ª Edición. Madrid, España: McGraw-Hill. 651p.

Barbato, R., A. Frizzo, G. Friso, F. Rigoni and G. Giacometti. 1995, feb. 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.

Barbato, R., E. Bergo, I. Szabo, F. Vecchia and G. Giacometti. 2000, april. Ultraviolet B exposure of whole leaves of barley affects structure and functional organization of photosystem II. *The Journal of Biological Chemistry* 275(15): 10976-10982.

Barnes, P., P. Jordan, W. Gold, S. Flint and M. Caldwell. 1988. Competition, morphology and canopy structure in wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena fatua* L.) exposed to enhanced ultraviolet-B radiation. *Functional Ecology* 2:319-330.

Benzie I.F. and J.J. Strain. 1996, jul. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytic Biochemistry* 239(1): 70-76.

Bieza, K. and R. Lois. 2001, jul. An Arabidopsis mutant tolerant to lethal ultraviolet-B levels shows constitutively elevated accumulation of flavonoids and other phenolics. *Plant Physiology* 126:1105-1115.

Bijlsma, R., and V. Loeschke. 2005, jul. Environmental stress, adaptation and evolution: an overview. *Journal of Evolutionary Biology* 18(4): 744-749.

Bornman, J. 1989, nov. 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.

Buzunariz, M. 1999. Efecto de la radiación ultravioleta (UV-B) sobre la sensibilidad a las bajas temperaturas en dos cultivares de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.). Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 32p.

- Carrasco, G. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (“NFT”). Manual técnico. Santiago, Chile: FAO/ Universidad de Talca. 105p.
- Caldwell, Ch. and S. Britz. 2006, march. 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 and Analysis* 19:637-644.
- Caldwell, M., R. Robberecht and S. Flint. 1983, march. Internal filters: Prospects for UV-acclimation in higher plants. *Physiologia Plantarum* 58(3): 445-450.
- Carrasco, L. 2009, dic. Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *IDESIA* 27(3):59-76.
- Castagna, A., E. Chiavaro, C. Dall’Asta, M. Rinaldi, G. Galaverna and A. Ranieri. 2012, sept. Effect of postharvest UV-B irradiation on nutraceutical quality and physical properties of tomato fruits. *Food Chemistry* 137:151-158.
- Cechin, I., T. Fumis and A. Dokkedal. 2007, jan.- feb. Growth and physiological responses of sunflower plants exposed to ultraviolet-B radiation. *Ciência Rural* 37(1): 85-90.
- Corporación Colombia Internacional (CCI). 2006. Plan hortícola nacional. Corporación Colombia Internacional. Bogota, Colombia. 50p.
- Cuerda, C, L. Luengo, M. Valero, A. Vidal, R. Burgos, F. Calvo et al. 2011, ene-feb. Antioxidantes y diabetes mellitus: revisión de la evidencia. *Nutrición Hospitalaria* 26(1): 68-78.
- Dale, J. 1988, june. The control of leaf expansion. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39: 267-295.
- Du, W., R. Avena-Bustillos, A. Breksa, and T. McHugh. 2012, oct. 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, feb. 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.
- Dudonné, S., X. Vitrac, P. Coutié, M. Woillez and J. Mérillon. 2009, march. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SPD, and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(5): 1768-1774.

- Encalada, M. 2000. Evaluación agronómica de cultivares de lechuga del tipo “baby” bajo sistema de cultivo hidropónico. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 80p.
- Faúndez, N. 2004. Fotosensibilidad de plantines de maíz (*Zea mays* L.) expuestos a radiación ultravioleta del tipo B (UV-B). Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 76p.
- Fernández-Pachón, M., D. Villaño, A. Troncoso y M. García-Parrilla. 2006, jun. Revisión de los métodos de evaluación de la actividad antioxidante in vitro del vino y valoración de sus efectos in vivo. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 56(2): 110-122.
- Francis, F. 1995, jan. Quality as influenced by color. Food Quality and Preference 6:149-155.
- Frohnmeier, H. and D. Staiger. 2003, dec. Ultraviolet-B radiation mediates responses in plants. Balancing damage and protection. Plant Physiology 133: 1420-1428.
- Giaconi, V. y M. Escaff. 2004. Cultivo de hortalizas. Decimoquinta edición. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 336p.
- Gilsanz, J. 2007. Hidroponía. Montevideo, Uruguay: INIA. 32p.
- Granval, N. y J. Gaviola. 1991. Manual de producción de semillas hortícolas: Lechuga. Mendoza, Argentina: INTA. 82p.
- Gutiérrez, A., L. Ledesma, I. García, y O. Grajales. 2007, ene-mar. Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. Revista Cubana Salud Pública 33 (1): 7-10.
- Hagen, S., G. Borge, G. Bengtsson, W. Bilger, A. Berge, K. Haffner et al. 2007, jul. 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, jan. 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, jan. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. The College of Agriculture University of California. Circular N° 347. 32p.

Interdonato, R., M. Rosa, C. Nieva, J. González, M. Hilal and F. Prado. 2011, feb. Effects of low UV-B doses on the accumulation of UV-B absorbing compounds and total phenolics and carbohydrate metabolism in the peel of harvested lemons. *Environmental and Experimental Botany* 70(2-3): 204-211.

ISTA, 2007. International rules for seed testing. Edición 2007. Bassersdorf, Suiza. ISTA. 250p.

Jacobo-Velázquez, D., and L. Cisneros-Zevallos. 2009, oct. 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.

Jansen, M., V. Gava and B. Greenberg. 1998, april. Higher plants and UV-B radiation: Balancing damage, repair and acclimation. *Trends in Plant Science* 3(4): 131-135.

Kataria, S. and K. Guruprasad. 2012, jul-aug. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280-400 nm) radiation. *Plant Science* 196:85-92.

Khanam, U., S. Oba, E. Yanase and Y. Murakami. 2012, jul. Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables. *Journal of Functional Foods* 4:979-987.

Kimura, M. and D. Rodríguez-Amaya. 2003, jan. Carotenoid composition of hydroponic leafy vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:2603-2607.

Lichtenthaler, H. and A. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extract in different solvent. *Biochemical Society Transactions* 603:591-592.

Liu, Ch., X. Han, L. Cai, X. Lu, T. Ying and Z. Jiang. 2011, march. 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, sep. 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, ene-mar. 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, jul. 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.

- Mesa-Vanegas, A., C. Gaviria, F. Cardona, J. Sáez-Vega, S. Blair y B. Rojano. 2010, abr.-jun. Actividad antioxidante y contenido de fenoles totales de algunas especies del género *Calophyllum*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 15(2): 13-26.
- Middleton, E. and A. Teramura. 1993, nov. The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage. *Plant Physiology* 103(3): 741-752.
- Moeller, S., P. Jaques and J. Blumberg. 2000, june. The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. *Journal of the American College of Nutrition* 19(5):5228-5278.
- Montgomery, D. 2005. *Diseño y Análisis de Experimentos*. 2ª Ed. Limusa Wiley. México D.F., México. 686 p.
- Moon, Y., X. Wang and M. Morris. 2006, march. Dietary flavonoids: Effects on xenobiotic and carcinogen metabolism. *Toxicology in Vitro* 20(2): 187-210.
- Nijveldt, R., E. van Noord, D. van Hoorn, P. Boelens, K. van Nooren and P. van Leeuwen. 2001, oct. Flavonoids: A review of probable mechanism of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition* 74 (4): 418-426.
- Nybakken, L., W. Bilger, U. Johanson, L. Björn, M. Zielke and B. Solhem. 2004, march. Epidermal UV-screening in vascular plants from Svalbard (Norwegian Arctic). *Polar Biology* 27:383-390.
- Oh, M., E. Carey and C. Rajashekar. 2009, feb. Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry* 47:578-583.
- Ortuño, A., A. Báidez, P. Gómez, M. Arcas, L. Porras, A. García-Lindón and J. Del Río. 2006, jan. *Citrus paradisi* and *Citrus sinensis* flavonoids: their influence in the defense mechanism against *Penicillium digitatum*. *Food Chemistry* 98(2): 351-358.
- Pais, M. 2000. Evaluación del desarrollo, crecimiento y rendimiento de cultivares de "minilechugas". Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 71p.
- Parra, B. 2005. Fotosensibilidad de plantines de pepino de ensalada (*Cucumis sativus* L.) expuestos a radiación ultravioleta del tipo B (UV-B). Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 47p.
- Pérez-Jiménez, J. 2007. Metodología para la evaluación de ingredientes funcionales antioxidantes: Efecto de fibra antioxidante de uva en status antioxidante y parámetros de riesgo cardiovascular en humanos. Tesis doctoral, Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid. 244p.

- Pierce, B., 2009. *Genética: Un enfoque conceptual*. 3ª Edición. Madrid, España: Editorial Medica Panamericana. 730p.
- Pinto, M., C. Lizana, C. Pastenes y M. Berti. 2000, mar. Efecto de la radiación ultravioleta-B sobre el crecimiento y la fotosíntesis de siete variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Chilena de Historia Natural* 73:55-66.
- Pokkaew, R., S. Wang, Ch. Liu, F. Huang, J. Chang, Ch. Lo and R. Chiou. 2013, nov. 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, dec. 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.
- Rodriguez-Amaya, D. 2001. *A guide to carotenoid analysis in foods*. U.S.A:OMNI.64p.
- Salama, H., A. Al Watban and A. Al-Fughom. 2011, jan. Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some anual desert plants. *Saudi Journal of Biological Sciences* 18: 79-86.
- Scalzo, J., A. Politi, N. Pellegrini, B. Mezzetti and M. Battino. 2005, feb. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* 21(2): 207-213.
- Scattino, C., A. Castagna, S. Neugart, H. Chan, M. Schreiner, C. Crisosto, P. Tonutti and A. Ranieri. 2014, april. Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines. *Food Chemistry* 163:51-60.
- Schmitz, R. and G. Weissenböck. 2003, march. Contribution of phenolic compounds to the UV-B screening capacity of developing barley primary leaves in relation to DNA damage and repair under elevated UV-B levels. *Phytochemistry* 64:243-255.
- Shaukat, S., M. Farooq, M. Siddiqui and S. Zaidi. 2013, may. 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.

- Stapleton, A. 1992, nov. Ultraviolet radiation and plants: burning questions. *Plant Cell* 4: 1353-1358.
- Staxén, I., C. Bergounioux and J. Bornman. 1993, jan. Effect of ultraviolet radiation on cell division and microtubule organization in *Petunia hybrida* protoplasts. *Protoplasma* 173(1-2): 70-76.
- Swain, T. and W. E. Hillis. 1959, jan. 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.
- Tegelberg, R., R. Julkunen-Tiitto and P. Aphalo. 2001, oct. The effects of long-term elevated UV-B on the growth and phenolics of field-grown silver birch (*Betula pendula*). *Global Change Biology* 7(7): 839-848.
- Teramura, H., L. Ziska and A. Sztein. 1991, nov. Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation. *Physiologia Plantarum* 83:373-380.
- Toro, G. 2008. Fotosensibilidad de plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.) expuestos a radiación ultravioleta del tipo B (UV-B). Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 48p.
- Treutter, D. 2010, march. Managing phenol contents in crop plants by phytochemical farming and breeding- Visions and Constraints. *International Journal of Molecular Sciences* 11:807-857.
- Tsormpatsidis, E., R. Henbest, F. Davis, N. Battey, P. Hadley and A. Wagstaffe. 2008, dec. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce 'Revolution' grown under polyethylene films. *Environmental and Experimental Botany* 63:232-239.
- Verdaguer, D., L. Llorens, M. Bernal and J. Badosa. 2012, jan. 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. Gutierrez. 2006, ene.-mar. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Trop.* 56(1): 21-42.

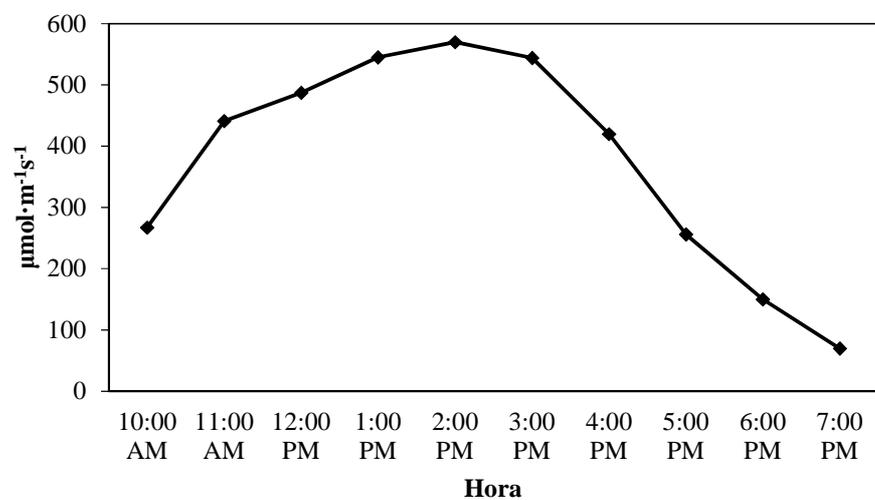
**APÉNDICE**

### Apéndice 1

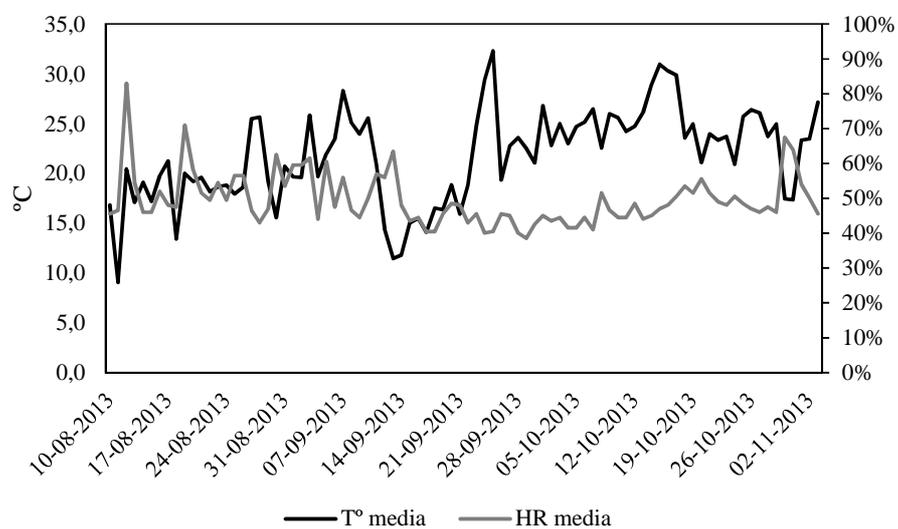
**Cuadro 1.** Test de germinación lechugas, cultivares ‘Kristine RZ’ y ‘Versai RZ’.

Cultivar	Repetición	Conteo semillas germinadas a 7 días	Porcentaje germinación (%)
‘Kristine RZ’	R1	10	100
	R2	10	
	R3	10	
‘Versai RZ’	R1	9	96,67
	R2	10	
	R3	10	

**Cuadro 2.** Campaña de medición de radiación fotosintéticamente activa (PAR) ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) diario en agosto de 2013, medido dentro de invernadero perteneciente al Centro de Estudios de Postcosecha de la Universidad de Chile



**Cuadro 3.** Temperatura media diaria (°C) y humedad relativa media diaria (%) dentro de invernadero entre 10 de agosto y 3 de noviembre de 2013.



## Apéndice 2

**Cuadro 1.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre área foliar (cm<sup>2</sup>) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas

Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versaï RZ'		'Kristine RZ'		'Versaï RZ'	
UVB0	71,78	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	50,17	a B	71,78	A <sup>2</sup>	50,17	B
UVB3	57,80	b A	48,28	a B	57,8	A	48,28	B
UVB6	51,70	b A	46,80	a A	51,7	A	46,8	B
UVB10	39,27	c A	41,58	a A	39,27	A	41,58	B
<b>Nivel de significancia</b>								
<b>Cultivar ( C )</b>	****				****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	****				NS			
<b>R x C</b>	***				NS			

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

<sup>2</sup> Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p<0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 2.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre el porcentaje de materia seca (%) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versaï RZ'		'Kristine RZ'		'Versaï RZ'	
UVB0	6,41	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	6,34	b A	13,82	A <sup>2</sup>	10,75	B
UVB3	6,43	a B	7,02	ab A	14,10	A	11,18	B
UVB6	6,45	a A	6,78	ab A	14,51	A	10,97	B
UVB10	6,35	a B	7,45	a A	13,78	A	11,08	B
<b>Nivel de significancia</b>								
<b>Cultivar ( C )</b>	***				****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	*				NS			
<b>R x C</b>	*				NS			

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

<sup>2</sup> Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p<0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 3.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre el tono (Hue) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versai RZ'		'Kristine RZ'		'Versai RZ'	
UVB0	121,80	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	72,14	a B	117,85	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	30,92	c B
UVB3	121,89	a A	67,00	b B	117,41	a A	25,96	d B
UVB6	122,53	a A	72,40	a B	117,80	a A	33,42	b B
UVB10	121,47	a A	67,52	b B	117,69	a A	37,66	a B
<b>Nivel de significancia</b>								
<b>Cultivar ( C )</b>	****				****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	**				****			
<b>R x C</b>	**				****			

1 Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

2 Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p< 0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 4.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la croma (C\*) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versai RZ'		'Kristine RZ'		'Versai RZ'	
UVB0	41,25	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	8,45	a B	45,94	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	7,33	b B
UVB3	40,12	ab A	8,33	a B	46,73	a A	7,99	ab B
UVB6	38,41	bc A	7,95	a B	45,44	ab A	8,58	ab B
UVB10	37,72	c A	8,09	a B	44,14	b A	9,06	a B
<b>Nivel de significancia</b>								
<b>Cultivar ( C )</b>	****				****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	**				NS			
<b>R x C</b>	*				**			

1 Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

2 Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p< 0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 5.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la luminosidad (L) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versai RZ'		'Kristine RZ'		'Versai RZ'	
UVB0	60,79	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	34,32	a B	64,78	A <sup>2</sup>	32,01	B
UVB3	59,77	ab A	33,74	ab B	64,02	A	32,42	B
UVB6	57,30	b A	33,66	b B	62,81	A	32,31	B
UVB10	57,16	b A	33,10	b B	64,14	A	32,72	B
Nivel de significancia								
<b>Cultivar ( C )</b>	****				****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	*				NS			
<b>R x C</b>	NS				NS			

1 Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

2 Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p< 0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 6.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la cantidad de clorofila a (mg·g<sup>-1</sup>) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B (kJ·m <sup>-2</sup> )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versai RZ'		'Kristine RZ'		'Versai RZ'	
UVB0	346,48	a <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	32,53	a B	163,98	a <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	231,49	bc A
UVB3	328,27	a A	32,79	a B	162,24	a A	192,37	c A
UVB6	278,20	b A	31,88	a B	133,42	a B	289,63	a A
UVB10	295,20	b A	45,42	a B	148,71	a B	271,75	ab A
Nivel de significancia								
<b>Cultivar ( C )</b>	****				****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	***				NS			
<b>R x C</b>	***				**			

1 Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

2 Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p< 0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 7.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la cantidad de clorofila *b* ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Cosecha 1						Cosecha 2			
	'Kristine RZ'			'Versai RZ'			'Kristine RZ'		'Versai RZ'	
UVB0	117,99	b <sup>1</sup>	A <sup>2</sup>	18,44	b	B	80,71	B <sup>2</sup>	112,60	A
UVB3	147,10	a	A	21,09	ab	B	87,79	B	120,72	A
UVB6	113,75	b	A	19,27	b	B	80,30	B	133,82	A
UVB10	111,99	b	A	26,16	a	B	76,73	B	125,33	A
<b>Nivel de significancia</b>										
<b>Cultivar ( C )</b>	****						****			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	****						NS			
<b>R x C</b>	****						NS			

1 Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

2 Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para  $p < 0,05$ , 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 8.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la cantidad de carotenoides ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Cosecha 1						Cosecha 2					
	'Kristine RZ'			'Versai RZ'			'Kristine RZ'			'Versai RZ'		
UVB0	102,62	a <sup>1</sup>	A <sup>2</sup>	9,76	a	B	47,61	a <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>	76,12	bc	A
UVB3	99,25	a	A	9,52	a	B	44,86	a	B	67,34	c	A
UVB6	81,65	b	A	9,76	a	B	38,16	a	B	102,90	a	A
UVB10	69,91	c	A	13,93	a	B	44,52	a	B	92,78	ab	A
<b>Nivel de significancia</b>												
<b>Cultivar ( C )</b>	****						****					
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	****						*					
<b>R x C</b>	****						**					

1 Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

2 Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para  $p < 0,05$ , 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 9.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales ( $\mu\text{g EAG}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Cosecha 1				Cosecha 2						
	'Kristine RZ'		'Versaï RZ'		'Kristine RZ'		'Versaï RZ'				
UVB0	27,17	A <sup>2</sup>	156,29	B	109,20	b <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>	373,68	b	A	
UVB3	25,33	A	144,51	B	168,50	a	B	588,72	a	A	
UVB6	39,16	A	125,60	B	121,85	ab	B	544,27	ab	A	
UVB10	26,63	A	170,62	B	134,97	a	B	654,62	a	A	
Nivel de significancia											
Cultivar ( C )	****				****						
Radiación UV-B ( R )	NS				*						
R x C	NS				NS						

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

<sup>2</sup> Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p < 0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 10.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la capacidad antioxidante medida por método DPPH ( $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Cosecha 1						Cosecha 2					
	'Kristine RZ'			'Versaï RZ'			'Kristine RZ'			'Versaï RZ'		
UVB0	47,89	a <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>	174,58	a	A	260,14	bc <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>	872,76	d	A
UVB3	38,75	a	B	132,42	b	A	297,84	ab	B	1521,61	a	A
UVB6	51,53	a	B	115,52	b	A	205,84	c	B	1117,01	c	A
UVB10	40,23	a	B	188,38	a	A	331,91	a	B	1423,05	b	A
Nivel de significancia												
Cultivar ( C )	****						****					
Radiación UV-B ( R )	***						****					
R x C	***						****					

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el factor radiación UV-B dentro de cada cultivar según test de Tukey (p-value < 0,05).

<sup>2</sup> Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey (p-value < 0,05).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para p < 0,05, 0,01, 0,001 ó 0,0001 respectivamente.

**Cuadro 11.** Efecto de la interacción de radiación ultravioleta B y cultivar sobre la capacidad antioxidante medida por método FRAP ( $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de hojas de lechuga “baby” hidropónicas en ambas cosechas.

Radiación UV-B ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Cosecha 1				Cosecha 2			
	'Kristine RZ'		'Versaï RZ'		'Kristine RZ'		'Versaï RZ'	
<b>UVB0</b>	25,67	B <sup>1</sup>	72,59	A	128,71	B <sup>1</sup>	453,72	A
<b>UVB3</b>	20,74	B	61,54	A	169,10	B	649,87	A
<b>UVB6</b>	26,58	B	35,55	A	154,42	B	581,35	A
<b>UVB10</b>	17,38	B	73,94	A	135,19	B	680,64	A
<b>Nivel de significancia</b>								
<b>Cultivar ( C )</b>	***				***			
<b>Radiación UV-B ( R )</b>	NS				NS			
<b>R x C</b>	NS				NS			

<sup>1</sup> Letras mayúsculas distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas para el factor cultivar dentro de cada nivel de radiación UV-B por cosecha según test de Tukey ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*. No Significativo o significativo para  $p < 0,05, 0,01, 0,001$  ó  $0,0001$  respectivamente.