

TECNOLOGÍA LED

PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE LECHUGA

La luz es una herramienta relevante en la producción de almácigos y hortalizas, provocando respuestas que pueden favorecer las características agronómicas y la producción cuando esta condición es adecuada. La iluminación con lámparas LED es una nueva herramienta en la agricultura de invernadero y en las fábricas de plantas, gracias a ella se puede extender la producción de muchas hortalizas de temporada durante todo el año, incluso cuando las condiciones del clima local no lo permiten.

 **CRISTIÁN HERNÁNDEZ Y VÍCTOR H. ESCALONA.** CENTRO DE ESTUDIOS POSTCOSECHA,

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE. SANTA ROSA 11315, LA PINTANA, SANTIAGO (CHILE). VESCALONA@UCHILE.CL, WWW.CEPOC.CL

Según FAOSTAT (2020) la producción de hortalizas en el mundo alcanzó a más de 1 billón (1 millón de millones) de toneladas considerando una gran variedad de especies. La producción se ha casi duplicado en 20 años, pasando de 574.932.260 toneladas el año 1998 a 1.088.839.427 de toneladas el año 2018, es decir un crecimiento de un 89,4%. En el mundo, en el año 2018, se cosecharon más de 57 millones de hectáreas con un rendimiento promedio 18.810 ton ha⁻¹. Las hortalizas frescas se consumen en todo el mundo, siendo la oferta de gran parte de ellas de abastecimiento local. En Chile se cultivan una amplia variedad de hortalizas en prácticamente todas las regiones del país. La tendencia de la superficie nacional hortícola -desde el año 2009 hasta el año 2016- fue a la baja, disminuyendo de 84.336 ha a 69.845 ha en este periodo de tiempo. Sin embargo, a partir del año 2017 ha habido un aumento paulatino, alcanzando más de 77.000 ha en el año 2019 (ODEPA, 2020). Cabe mencionar que más del 83% de esta superficie se concentra en la zona centro del país, entre las regiones de Coquimbo y Maule. En este contexto, la Región Metropolitana tiene la mayor superficie cultivada con hortalizas, alcanzando más de 24.000 ha (31,4% del total de la superficie nacional), en segundo lugar está la región del Maule (14,1%)

y en tercer lugar la región de O'Higgins (13,7%) (ODEPA, 2020). Según datos de ODEPA (2020) las especies hortícolas más importantes, cuando se considera la superficie cultivada, son choclo (10.151 ha), lechuga (6.476 ha) y tomate (5.328 ha).

Por otra parte, de acuerdo al último Censo Agropecuario (2007), alrededor de 1,6% de la superficie total de hortalizas se cultiva bajo invernadero. Estas áreas son muy importantes, ya que su producción permite ampliar la oferta de hortalizas durante el año, así como abastecer las distintas regiones a lo largo del país. Las especies más importantes cultivadas bajo invernadero son tomate (67% de la superficie total invernadero), pimiento (8%), pepino de ensalada (7%) y lechuga (3,3%).

síntesis, así como una fuente de señales o información que activa la fotomorfogénesis y otros procesos fisiológicos como la producción secundaria de metabolitos en plantas. La luz es absorbida, reflejada o transmitida cuando llega a las plantas. Algunos fotones fotosintéticos son capturados y convertidos en energía química como carbohidratos en las plantas, mientras que la luz absorbida restante se convierte en calor.

Adicionalmente, las señales

luminosas pueden regular los cambios en la estructura y la forma de los vegetales, como la germinación de semillas, des-etiolación, expansión foliar, fototropismo, evitación de vecinos, alargamiento del tallo, iniciación floral y síntesis de pigmentos. El crecimiento y el desarrollo de las plantas se ve afectado por las características de la luz ambiental, donde se incluye la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF, a veces llamada intensidad de luz), fotoperiodo (período luz / oscuridad), relación de DFFF difuso a directo y calidad (longitud de onda o distribución espectral).

Se ha observado que la morfología de la planta (iniciación del botón floral, longitud del entrenudo, ramificación, enraizamiento, etc.) y la producción de metabolitos secundarios (pigmentos, vitaminas, compuestos antioxidantes, etc.) se ve afectado significativamente por el espectro de luz y el fotoperiodo. Por lo tanto, los LED con diferentes calidades de luz se pueden utilizar para controlar la morfogénesis y la producción de metabolitos secundarios más eficientemente, aumentando el valor de los cultivos.

¿QUÉ VENTAJAS PRESENTA EL USO DE LA TECNOLOGÍA LED EN LA HORTICULTURA?

Los diodos emisores de luz (LED) tienen un buen rendimiento de costos debido a un alto factor de conversión de electricidad a luz, colora-

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA LUZ EN LAS HORTALIZAS?

La luz es una fuente de energía para la foto-

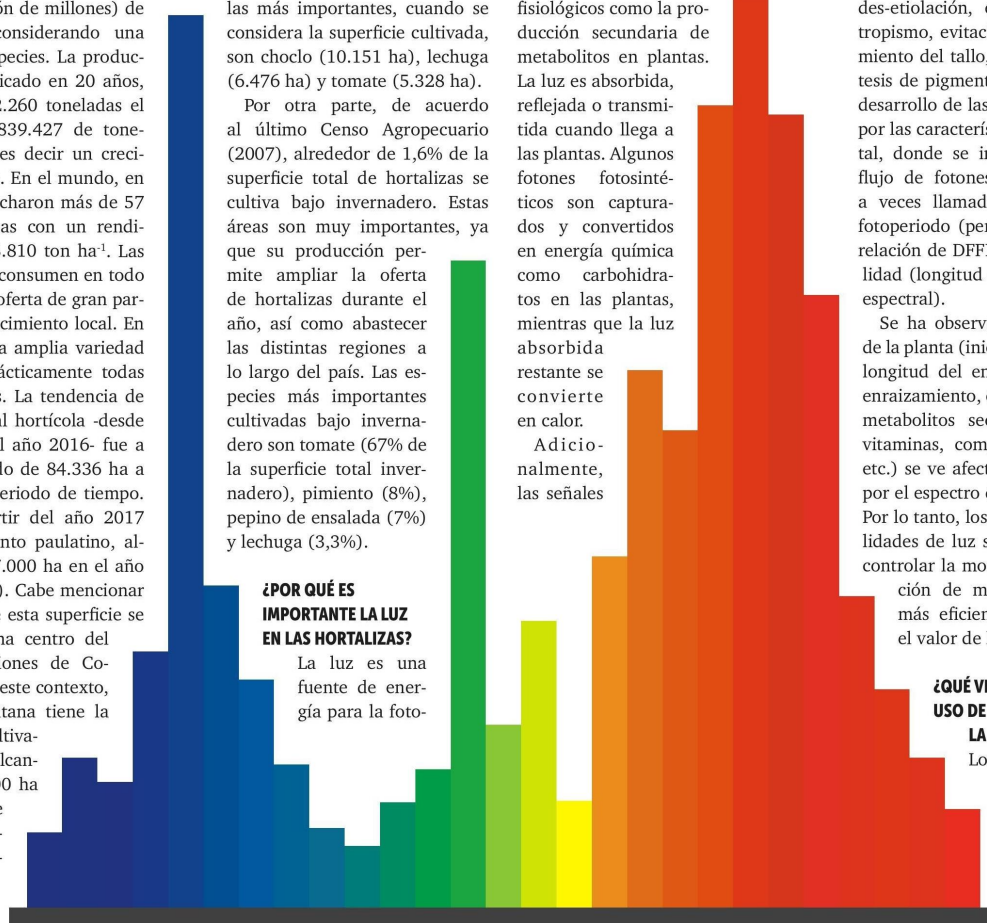
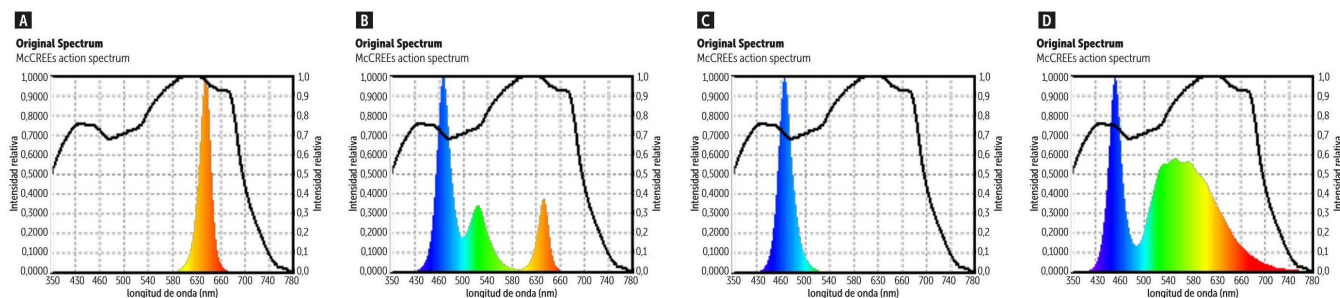


Figura 1. Espectros de luz usados para llevar a cabo los ensayos en diferentes cultivares de lechuga. A: espectro luz roja; B: espectro luz mixta (roja, azul y verde); C: espectro luz azul y D: espectro luz blanca.



ción variada (espectros), temperatura superficial baja lo que permite reducir costos de enfriamiento debido a la menor generación de energía térmica, durabilidad de las lámparas, construcción en estado sólido sin gas en sistemas compactos que permite su colocación cerca de las plantas. Este diseño favorece una configuración de múltiples capas de producción de plantas, apiladas verticalmente dentro de una instalación. Las aplicaciones de LED para la investigación hortícola se han realizado de forma intensiva desde 1990. Tanto es así que, por ejemplo, en países asiáticos, las lámparas fluorescentes se han reemplazado gradualmente por LED y en los Países Bajos y el norte de Estados Unidos, las lámparas de sodio de alta presión (HPS) para iluminación suple-

mentaria, se reemplazaron por LED (Kosai et al., 2016).

TECNOLOGÍA LED Y LA INVESTIGACIÓN EN CHILE

En el Centro de Estudios de Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile se están llevando a cabo ensayos de investigación en los que se evalúa el efecto de distintos espectros de luces LED sobre las características agronómicas y calidad funcional en hortalizas de hoja, esto en el marco del proyecto FIC “Aumento del valor funcional y calidad organoléptica de hortalizas de hoja producidas en la Región de O’Higgins mediante la aplicación controlada de estreses ambientales en sistemas de producción forzada y mínimo procesamiento”.

ENSAYO 1: EFECTO DE DIFERENTES ESPECTROS DE LUZ LED SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS GERMINATIVAS Y AGRONÓMICAS DE DISTINTOS CULTIVARES DE LECHUGA

ETAPA GERMINACIÓN

El ensayo se efectuó con el fin de observar el efecto que tienen distintos espectros de luz LED (azul, rojo, blanco y combinación de luz roja, azul y verde (luz mixta)) (Figura 1) más una condición en oscuridad sobre la germinación de distintos cultivares de lechuga de hoja suelta: dos cultivares de hoja verde (Lavinia y Levistro) y dos cultivares de hoja roja (Carmolí y Maira) en condiciones controladas ($T^{\circ} = 20 \pm 1^{\circ}C$ y humedad relativa ambiental (%)). Las semillas fueron puestas en cápsulas Petri, siguiendo las Normas

ISTA (2005), bajo las distintas condiciones de luz (Cuadro 1). Adicionalmente, se evaluaron las características agronómicas de los cvs. Levistro y Carmolí bajo los espectros de luz blanca, mixta y azul.

A nivel germinativo se observó un efecto significativo de los distintos espectros de luz en el porcentaje de germinación, el coeficiente de velocidad de germinación (CVg) y la velocidad de germinación (Vg) de los cuatro diferentes cultivares de lechuga (Cuadro 2 y Figura 1).

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

El porcentaje de germinación se calculó contando el total de semillas germinadas al día 4 y se dividió por el total de semillas sembradas; esta relación se multiplicó por 100.

Título: TECNOLOGÍA LED PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE LECHUGA

Cuadro 1. Tratamientos y condiciones a los que fueron sometidas las distintas semillas de los distintos cultivares de lechuga.

Tratamiento	Longitud de onda	Intensidad ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Fotoperiodo (h luz)
1	Oscuridad	-	-
2	Rojo	55 ± 5	12
3	Mixta ¹	55 ± 5	12
4	Azul	55 ± 5	12
5	Blanco	55 ± 5	12

¹Combinación de longitud de onda rojo, azul y verde en proporción de 1:1:1

Cuadro 2. Características de la germinación de distintos cultivares de lechuga bajo diferentes espectros de luz LED medidas 4 días postsiembr.

Tratamiento	n	Germinación		Cvg		Vg	
		%		días		N° semillas día ⁻¹	
Lechuga cv. Lavinia (hoja verde)							
Luz roja	4	47 ± 7,2	b	3,7 ± 0,14	b	6,8 ± 1,15	b
Luz mixta	4	66 ± 3,6	a	3,5 ± 0,04	b	9,8 ± 0,54	b
Luz azul	4	56 ± 4,7	a	3,0 ± 0,07	a	10,1 ± 0,91	b
Luz blanca	4	89 ± 5,0	a	3,3 ± 0,15	a	14,7 ± 0,60	a
Oscuridad	3	18 ± 0,0	c	3,7 ± 0,06	b	2,5 ± 0,06	c
Lechuga cv. Levistro (hoja verde)							
Luz roja	4	98 ± 1,6	a	2,0 ± 0,29	bc	31,2 ± 2,83	abc
Luz mixta	4	100 ± 1,0	a	1,5 ± 0,12	a	37,8 ± 1,36	a
Luz azul	4	100 ± 1,0	a	1,6 ± 0,14	ab	34,4 ± 1,84	ab
Luz blanca	4	100 ± 1,0	a	1,8 ± 0,07	abc	29,0 ± 0,87	bc
Oscuridad	3	99 ± 1,0	a	2,1 ± 0,03	c	24,2 ± 2,57	c
Lechuga cv. Maira (hoja roja)							
Luz roja	4	14 ± 4,9	b	3,3 ± 0,34	ab	2,3 ± 0,44	bc
Luz mixta	4	25 ± 5,2	b	3,5 ± 0,32	ab	3,7 ± 0,67	bc
Luz azul	4	29 ± 8,4	b	2,8 ± 0,35	a	5,3 ± 0,56	b
Luz blanca	4	86 ± 7,4	a	3,3 ± 0,16	ab	13,6 ± 0,99	a
Oscuridad	3	8,0 ± 3,0	b	3,7 ± 0,29	b	1,3 ± 0,70	c
Lechuga cv. Carmolí (hoja roja)							
Luz roja	4	97 ± 2,6	b	2,6 ± 0,33	a	19,9 ± 1,60	a
Luz mixta	4	100 ± 0,0	a	2,2 ± 0,07	a	23,3 ± 0,29	a
Luz azul	4	100 ± 0,0	a	2,0 ± 0,01	a	24,9 ± 0,05	a
Luz blanca	4	99 ± 1,0	ab	2,2 ± 0,46	a	22,9 ± 2,02	a
Oscuridad	3	100 ± 0,0	a	2,1 ± 0,01	a	24,6 ± 2,81	a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas para la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Promedio ($n = 4$) ± desviación estándar. ¹ Valor obtenido al día 3 después de la siembra.

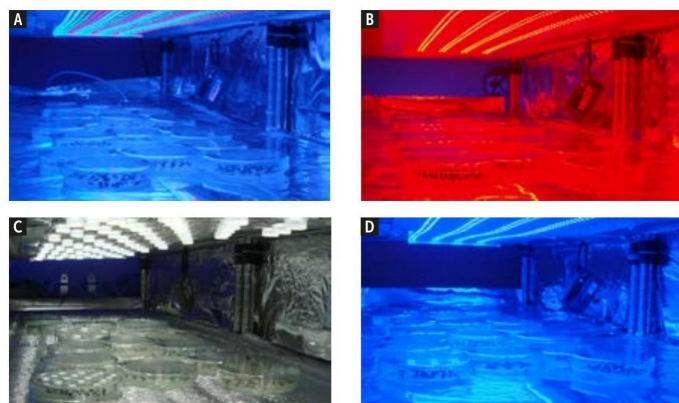


Figura 2. Semillas de distintos cultivares de lechuga bajo distintos espectros de luz LED bajo condiciones controladas de temperatura. A) Luz mixta; B) Luz roja; C) Luz blanca y D) Luz azul.

Cultivares de hoja verde: en el cultivar (cv.) Lavinia el porcentaje de germinación varió entre 18% y 89% y hubo un efecto significativo entre los espectros de luz. El porcentaje de germinación aumentó significativamente bajo el espectro de luz blanca y fue mayor en un 71%, 42%, 33% y 23% respecto de la condición de oscuridad, luz roja, azul y mixta, respectivamente (Cuadro 2). En el caso del cv. Levistro el porcentaje de germinación varió entre 98% y 100%, observándose un alto porcentaje de germinación bajo todos los espectros de luz y la condición de oscuridad. Cabe mencionar que, bajo la condición de oscuridad, los germinados presentaron hojas de color amarillo pálido (Figura 3, E) y bajo el espectro de luz roja, los germinados presentaron tallos largos y débiles y hojas de color verde pálido (Figura 3, B).

Cultivares de hoja roja: en el cv. Maira el porcentaje de germinación varió entre 8% y 86% y hubo un efecto significativo entre los espectros de luz. El porcentaje de germinación aumentó significativamente bajo el espectro de luz blanca y fue mayor en un 78%, 72%, 61% y 57% respecto de la condición de oscuridad, de luz roja, mixta y azul, respectivamente. En el caso del cv. Carmolí el porcentaje de germinación varió entre 97% y 100%, observándose un alto porcentaje de germinación bajo todos los espectros de luz y la condición de oscuridad, aunque el porcentaje de germinación fue significativamente más bajo en luz roja (Cuadro 2) y estos germinados presentaron tallos largos y débiles y hojas de color verde pálido.

En vista de estos resultados, el efecto que ejerce el espectro de luz es dependiente del cultivar. Para el caso del cv. Lavinia (hoja verde) y del cv. Maira (hoja roja) el más alto porcentaje de germinación se consigue con el espectro de luz blanca, mientras que para el cv. Levistro (hoja verde) y cv. Carmolí (hoja roja) el más alto porcentaje de germinación se obtuvo bajo luz blanca, azul y mixta y sin que los germinados presenten problemas de etiolación.

COEFICIENTE DE VELOCIDAD DE GERMINACIÓN (CVG)

El Cvg indica el número de días en que tardan las semillas en llegar a su máximo porcentaje de germinación, es decir, si la germinación es rápida o lenta.

Cultivares de hoja verde: El Cvg del cv. Lavinia varió entre 3 y 3,7 días bajo los distintos espectros de luz. Además, las semillas bajo espectros de luz azul y blanco germinaron significativamente más rápido que bajo luz roja, mixta y oscuridad. En el caso del cv. Levistro,

el Cvg varió entre 1,5 y 2,1 días en los distintos espectros de luz. En cuanto a los espectros de luz, las semillas bajo luz mixta, azul y blanco presentaron la más rápida germinación sin observarse diferencias significativas entre ellos (Cuadro 2).

Cultivares de hoja roja: El Cvg del cv. Maira varió entre 2,8 y 3,7 días bajo los distintos espectros de luz. Por su parte, el Cvg del cv. Carmolí varió entre 2 y 2,6 días. Por otro lado, tanto en el cv. Maira como en cv. Carmolí se observó que, bajo el espectro de luz azul, las semillas germinaron más rápido que en el resto de los tratamientos, aunque no hubo diferencias significativas entre los espectros de luz en el cv. Carmolí (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos indican que el efecto de los espectros de luz depende del cultivar. Para el caso de los cultivares de hoja verde, la germinación del cv. Lavinia fue más lenta que en el cv. Levistro, demorando aproximadamente el doble de tiempo en germinar. Además, el cv. Lavinia bajo el espectro de luz azul y blanco germinan medio día antes que los otros espectros de luz, mientras que el cv. Levistro germina más rápido (medio día antes) bajo los espectros de luz mixta y azul, respecto a los otros espectros de luz. En cuanto a los cultivares de hoja roja, la germinación del cv. Maira fue más lenta que en el cv. Carmolí, demorando entre 0,8 y 1,1 días más de tiempo en germinar. En ambos cultivares de hoja roja, el espectro de luz azul propició una germinación más rápida.

VELOCIDAD DE GERMINACIÓN (Vg)

La Vg representa el número de semillas promedio que germina por día y se calcula al finalizar la germinación de las semillas (4 días post siembra).

Cultivares de hoja verde: La Vg de semillas del cv. Lavinia varió entre 2,5 y 14,7 semillas día⁻¹ bajo los distintos espectros de luz. La Vg en el espectro de luz blanco fue significativamente más alta (14,7 semillas día⁻¹) respecto de los otros espectros de luz, mientras que las semillas en oscuridad mostraron la más baja (2,5 semillas día⁻¹). Por su parte, la Vg del cv. Levistro varió entre 24,2 y 37,8 semillas día⁻¹ entre los diferentes espectros de luz y fue significativamente más alta en la luz mixta (37,8 semillas día⁻¹) que bajo luz blanca (29 semillas día⁻¹) y oscuridad (24,2 semillas día⁻¹) (Cuadro 2).

Cultivares de hoja roja: La Vg de semillas del cv. Maira varió entre 1,3 y 13,6 semillas día⁻¹ entre los distintos espectros de luz. La Vg bajo luz blanca fue significativamente más alta (13,6 semillas día⁻¹) respecto a los otros espectros

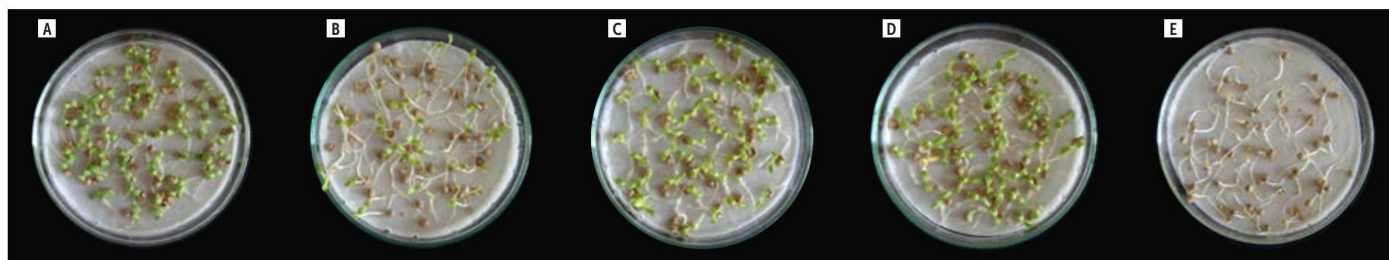


Figura 3. Semillas germinadas de lechuga cv. Levistro 4 días post siembra bajo distintos espectros de luz. A) Luz mixta; B) Luz roja; C) Luz blanca; D) Luz azul y E) Oscuridad.

de luz, mientras que las semillas en oscuridad mostraron la más baja (1,3 semillas día⁻¹). En el cv. Carmolí, la Vg varió entre 19,9 y 24,9 semillas día⁻¹ y no se obtuvieron diferencias significativas entre los espectros de luz, pero los valores fueron mayores con luz azul (24,9 semillas día⁻¹) (Cuadro 2).

Los resultados demuestran nuevamente que el efecto del espectro de luz es dependiente del cultivar. En los cultivares de hoja verde, el cv. Lavinia presentó una mayor velocidad de germinación bajo luz blanca, mientras que el cv. Levistro mostró una mayor velocidad de germinación bajo luz mixta seguido de luz azul. En cuanto a los cultivares de hoja roja, el cv. Maira mostró una mayor velocidad de germinación bajo luz blanca, mientras que el cv. Carmolí mostró una mayor velocidad de germi-

nación bajo la luz azul, aunque fue similar al resto de los espectros.

FACTORES QUE INCIDEN EN LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS

Los resultados obtenidos de las distintas variables evaluadas a nivel germinativo (porcentaje de germinación, Cvg y Vg) indican que el efecto de los espectros de luz es dependiente del cultivar. Respecto a las condiciones normales de iluminación que se usan en la germinación de semillas de lechuga (luz blanca y constante) es importante señalar que el uso de espectros de luz distintos al blanco, como la luz mixta (rojo, azul y verde) y azul, con un fotoperiodo de 12 horas por día, son condiciones que mejorarían la respuesta germinativa de las semillas de lechuga de ciertos cultivares (Levistro y Carmolí), reduciéndose los

días en que se alcanza la máxima germinación y aumentándose la velocidad de germinación de las semillas, haciendo hincapié que la respuesta es dependiente de cultivar.

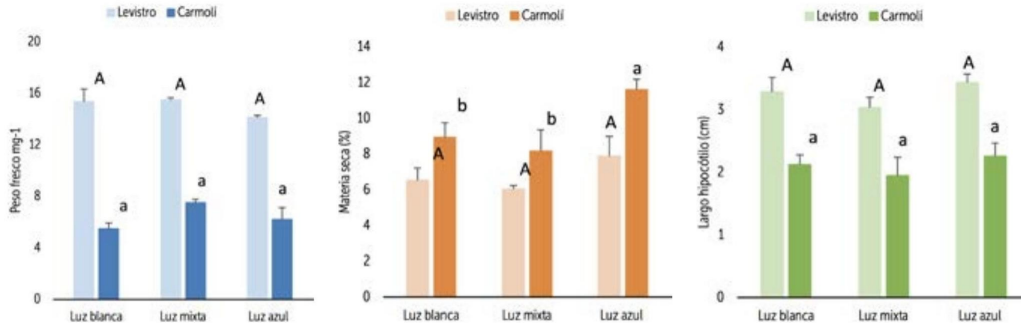
Las semillas de lechuga requieren de luz para germinar y la falta de germinación de las semillas se puede deber a diferentes factores como, por ejemplo, falta de humedad, siembra demasiado profunda o uso de semillas viejas. Además, es característico de las semillas de lechuga presentar fotosensibilidad y termo inhibición que con frecuencia impiden la germinación y la emergencia rápida y uniforme de los germinados. La fotosensibilidad en semillas de lechuga está mediada por el fitocromo, un fotoreceptor que se activa al absorber luz roja (fitocromo activado) y que es necesaria para la germinación de

semillas de lechuga. Lo anterior induce la síntesis de giberelinas (GA), hormona que promueve la germinación, y disminuye la concentración de ácido abscísico (ABA), hormona que inhibe la germinación, favoreciendo así el proceso germinativo. La luz roja por sí sola, la que formó parte del espectro de luz blanco y mixto utilizado en este ensayo, jugó un papel fundamental, promoviendo la germinación de las semillas de los cultivares Levistro y Carmolí.

Los resultados también sugieren que la luz no es un factor limitante de la germinación de semillas en estos cultivares. Los cvs. Maira y Lavinia -al parecer- requieren de luz para germinar, ya que en oscuridad se logró un bajo porcentaje de germinación. Además, necesitaría un espectro específico de luz blanca para alcanzar altos porcen-

Título: TECNOLOGÍA LED PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE LECHUGA

Figura 4. Características agronómicas de germinados de dos cultivares de lechuga bajo diferentes espectros de luz LED a los 4 días post siembra en capsula Petri. Letras distintas en la misma barra de color indican diferencias significativas para la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Promedio ($n = 4$) \pm desviación estándar.



tajes de germinación. En base a los resultados de este estudio, se recomienda usar luz azul o mixta para lograr en un corto tiempo un alto porcentaje de germinación en los cvs. Levistro y Carmolí, mientras que para los cvs. Lavinia y Maira es mejor la luz blanca.

ETAPA DESARROLLO DE LOS GERMINADOS

Una vez finalizada esta parte se decidió, en vista de los resultados obtenidos a nivel germinativo, evaluar las características agronómicas de los germinados de los cultivares Levistro y Carmolí

mantenidos bajo los espectros de luz mixta, azul y blanca, tras 4 días post siembra. El propósito de continuar los tratamientos de luz sobre los germinados fue evaluar su desarrollo antes de la siembra y así obtener plántulas más robustas, mejorando su aclimatación en el sustrato (Figuras 4 y 5).

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS GERMINADOS

Peso fresco: El peso fresco de los germinados del cv. Levistro varió entre 14,1 y 15,5 mg en los diferentes espec-

tros de luz. Los germinados mantenidos bajo luz mixta fueron los que mostraron el mayor peso fresco (15,5 mg) aunque no se observaron diferencias significativas entre los espectros de luz. En el cv. Carmolí, el peso fresco de los germinados varió entre 5,5 y 7,5 mg, en los diferentes espectros de luz. El peso fresco de los germinados mantenidos bajo luz mixta (7,5 mg) fue significativamente mayor que el peso de los germinados mantenidos en luz azul (6,2 mg) y blanca (5,5 mg) (Figura 4).

Porcentaje de materia seca: el porcentaje de materia seca en el cv. Levistro varió entre 6,1 y 7,9% y no se observaron diferencias significativas entre los diferentes espectros de luz, pero cabe hacer notar que los germinados bajo luz azul presentaron el más alto porcentaje de materia seca (7,9%). En el cv. Carmolí el porcentaje de materia seca varió entre 8,2 y 11,6% y los germinados tratados con luz azul mostraron un porcentaje de materia seca significativamente mayor en un 42,3 y 29,9% respecto a los germinados tratados con luz mixta y blanca, respectivamente (Figura 4).

Largo hipocótilo: En el cv. Levistro el largo del hipocótilo osciló entre 3 y 3,5 cm, mientras que en el cv. Carmolí fue de 2 a 2,3 cm y, si bien en ambos cultivares, no se observaron diferencias significativas entre los espectros de luz, se encontró que la luz azul propició un mayor largo del hipocótilo, el que superó en promedio en un 8,9 y 11,3% a los otros espectros de luz en los cvs. Levistro y Carmolí, respectivamente (Figuras 4 y 5).

LUZ AZUL PARA CONSEGUIR GERMINADOS DE CALIDAD

El desarrollo de la planta está influenciado por la luz que incide sobre ella y estas responden de diferente manera a los espectros específicos, activando el sistema de fotoreceptores que influye sobre la morfología, el crecimiento y la fotosíntesis de las plantas. Los resultados de este ensayo indican que el efecto del espectro de luz en las características agronómicas de los germinados depende del cultivar, ya que la magnitud de

la respuesta observada es una variable en cada cultivar. El mayor peso fresco para ambos cultivares fue encontrado bajo luz mixta, pero los valores observados fueron mayores en el cv. Levistro respecto al cv. Carmolí. Mientras que el mayor porcentaje de materia seca y largo del hipocótilo de los germinados fue observado bajo luz azul, siendo los valores de materia seca mayores en el cv. Carmolí y la longitud del hipocótilo mayor en el cv. Levistro. La acumulación de biomasa depende de la fotosíntesis, la que es impulsada por la absorción de la luz por parte de los pigmentos de clorofila. La clorofila absorbe en los espectros de luz azul y rojo, sin embargo, en este estudio se encontró que la adición de luz verde aumentó el área foliar y el peso fresco de los germinados, alcanzando un mayor peso fresco en los cvs. Levistro y Carmolí bajo la luz mixta (rojo, azul y verde). El mayor porcentaje de materia seca obtenido en los cvs. Levistro y Carmolí puede deberse a un hipocótilo más largo y a que los cotiledones promueven el proceso fotosintético más eficientemente bajo el espectro de luz azul. En base a los resultados obtenidos en este ensayo, se recomienda usar luz azul para conseguir germinados de calidad (alto % de materia seca).

ENSAYO 2: EFECTO DE DISTINTOS ESPECTROS DE LUZ LED SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE PLÁNTULAS DE DOS CULTIVARES DE LECHUGA PREVIO AL TRASPLANTE

Posteriormente los germinados de lechuga cvs. Levistro y Carmolí tratados con luz mixta, azul y blanca fueron colocados en almacigueras con sustrato de turba y perlita (1:1 = v: v) bajo diferentes espectros de luz LED (rojo, mixto, azul y blanco), en las mismas condiciones del ensayo 1, y se adicionó la condición de luz ambiental (en invernadero) (Figuras 6 y 7) con el fin de evaluar las características agronómicas cuando las plántulas alcanzaron 5-6 cm de largo de raíz (previo al trasplante).

INCIDENCIA EN CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

Peso fresco: el peso fresco de las plántulas del cv. Levistro varió entre 0,26 y 0,34 g bajo los distintos espectros de luz. El peso fresco fue significativamente mayor en las plántulas mantenidas bajo el espectro de luz blanco (0,34 g) y rojo (0,31 g) respecto a las plántulas tratadas con luz azul (0,29 g), mixta (0,28 g) y ambiente (0,26 g). Por su parte, el peso fresco de las plántulas del cv. Carmolí osciló entre 0,20 y 0,37 g y se observaron diferencias significativas entre los espectros de luz. El peso



Figura 5. Germinados de lechuga cv. Levistro bajo distintos espectros de luz LED 4 días post siembra.

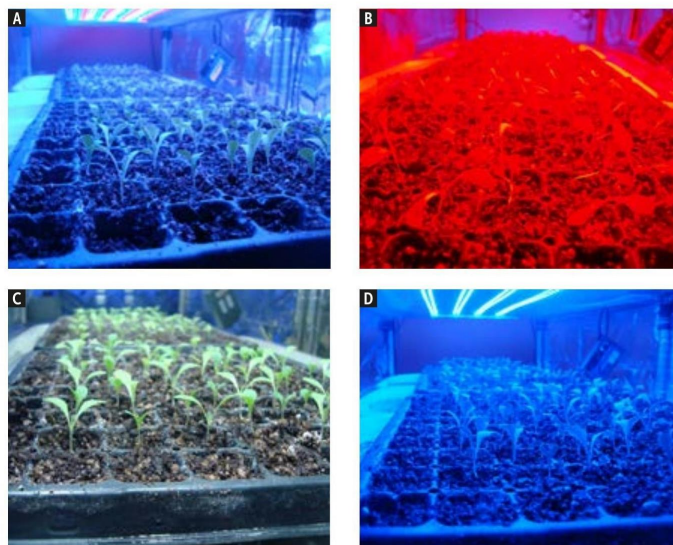
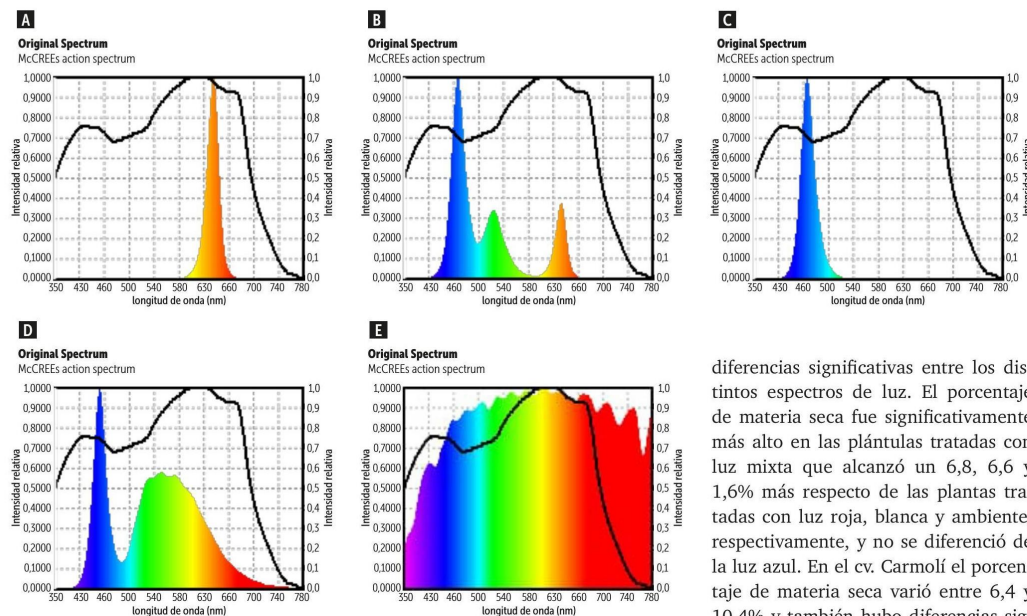


Figura 6. Plántulas de lechuga cv. Levistro y Carmolí bajo distintos espectros de luz LED bajo condiciones controladas de temperatura. A) Luz mixta; B) Luz roja; C) Luz blanca y D) Luz azul.

Figura 7. Espectros de luz usados para evaluar su efecto sobre plántulas de lechuga cv. Levistro y Carmolí. A: espectro luz roja; B: espectro luz mixta (roja, azul y verde); C: espectro luz azul; D: espectro luz blanca y E: espectro luz ambiente (invernadero).



fresco de las plántulas mantenidas bajo luz roja (0,27 g) fue significativamente mayor que el resto de los espectros de luz. Así mismo, el peso fresco de las plántulas tratadas con luz blanca (0,23 g) y azul (0,23 g) fue significativamente

mayor que el peso de las plántulas tratadas con luz mixta y ambiente en un 13% (Figura 8).

Porcentaje de materia seca: en el cv. Levistro el contenido de materia seca varió entre 5,2 y 12% y se observaron

diferencias significativas entre los distintos espectros de luz. El porcentaje de materia seca fue significativamente más alto en las plántulas tratadas con luz mixta que alcanzó un 6,8, 6,6 y 1,6% más respecto de las plantas tratadas con luz roja, blanca y ambiente, respectivamente, y no se diferenció de la luz azul. En el cv. Carmolí el porcentaje de materia seca varió entre 6,4 y 10,4% y también hubo diferencias significativas entre los espectros de luz. El porcentaje de materia seca fue más alto en las plántulas mantenidas bajo luz azul (10,4%), mixta (10,3%) y ambiente (10,2%), las que alcanzaron un incremento del 62 y 43% respecto de las plántulas en luz blanca y roja, res-

CONSUMO E INGESTA DE HORTALIZAS EN CHILE

Las hortalizas de estación (alcachofas, choclo, habas, porotos verdes, porotos granados, etc.) son las de mayor consumo con un 27% del total, seguido de tomate con un 19%, cebolla y cebollín con un 10% y lechugas con un 10%. Los chilenos se suelen abastecer de estos productos a través de dos canales, el canal tradicional que está formado por pequeños agricultores y comerciantes de ferias libres, donde ocurre el 70% de las ventas hortofrutícolas y aproximadamente el 30% restante a través de los supermercados. Si bien existe una amplia gama de hortalizas que se consumen, la ingesta de frutas y hortalizas a nivel nacional está muy por debajo de la recomendación diaria de consumo dada por la Organización Mundial de la Salud para mantener una alimentación sana y que alcanza a unos 178 g por persona al día. En este escenario sólo el 15,7% de la población mayor de 15 años cumple con la recomendación de consumir 5 porciones de frutas y hortalizas al día.

pectivamente (Figura 9).

Largo de hoja: en ambos cultivares de lechuga se observó que el espectro de luz roja propició un largo significativamente mayor de las hojas, mostrándose elongadas y haciendo que las plántulas pierdan la forma de roseta. Mientras que

RELACION ENTRE LAS HORTALIZAS Y ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES

El aumento de la población y de las enfermedades crónicas no transmisibles hace de las hortalizas un alimento importante en la dieta de dicha población. El estudio "Realidad y perspectivas de la producción y consumo de verduras y frutas en Chile", realizado el año 2016 por el Instituto de Tecnología de los Alimentos (INTA), indicó que debido a las características nutricionales de las hortalizas frescas, que contienen una gran cantidad de agua (aproximadamente un 80% de su peso), y porque la mayor parte de ellas son hipocalóricas, debiera aumentar su importancia en el consumo, con el crecimiento de la población de segmentos de ingresos medios y altos (Furche y Martínez, 2011). Estos antecedentes ayudarían a disminuir la alta prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles en la población general y ralentizarían el aumento

progresivo del sobrepeso y obesidad en los escolares, que alcanza a un 50% y que en algunos casos, alcanza porcentajes más elevados. Entre las hortalizas que contribuyen de forma más importante a este beneficio están la lechuga, espinaca, acelga, hojas de mostaza, el brócoli y las coles (Hung et al., 2004), gracias a su contenido alto en vitamina C, carotenoides, polifenoles y fibra, entre otros. Sin embargo, se sabe que la cantidad de alimento que hoy se produce no dará abasto para la población futura. Ello hace necesario, en la producción de hortalizas, la intensificación tecnológica para incrementar la producción y rendimiento e incorporar valor agregado. Así se espera un desarrollo de sistemas de producción con un control ambiental más inteligente; un vuelco hacia fábricas de hortalizas verdes con ambiente controlado,

especialmente en las ciudades y la "generación de nuevos productos", con mejores características organolépticas saludables y/o bioactivas / funcionales. Lo anterior trae asociado un mejor control de los factores de producción y, por lo tanto, un mayor rendimiento, un aumento en la calidad y valor del producto sin ignorar la viabilidad económica y la eficiencia en el uso de los recursos.

Hoy el uso de la tecnología LED en los invernaderos, como suplementación o el uso en la producción de hortalizas en ambientes totalmente controlados es una herramienta promisoría para mejorar sus características agronómicas y funcionales y cuyo efecto puede ser observado a nivel de semillas, almácigos y plantas adultas.

Figura 8. Peso fresco de dos cultivares de lechuga bajo diferentes espectros de luz. Letras distintas en la misma barra de color indican diferencias significativas para la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Promedio ($n = 4$) \pm desviación estándar.

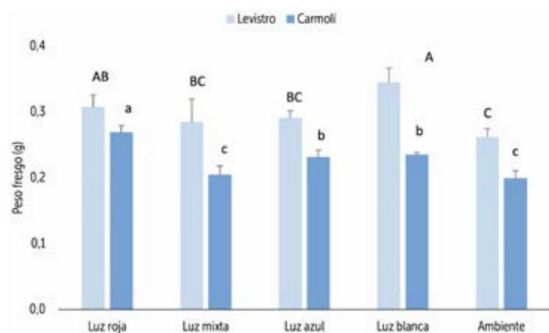


Figura 9. Porcentaje de materia seca de dos cultivares de lechuga bajo diferentes espectros de luz. Letras distintas en la misma barra de color indican diferencias significativas para la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Promedio ($n = 4$) \pm desviación estándar.

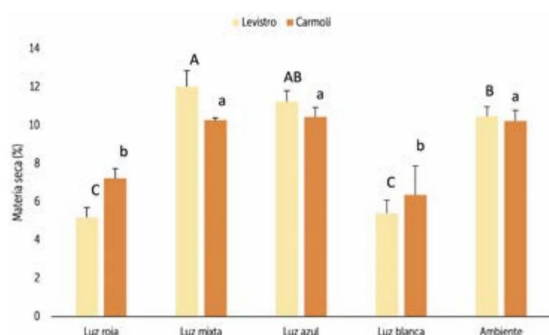
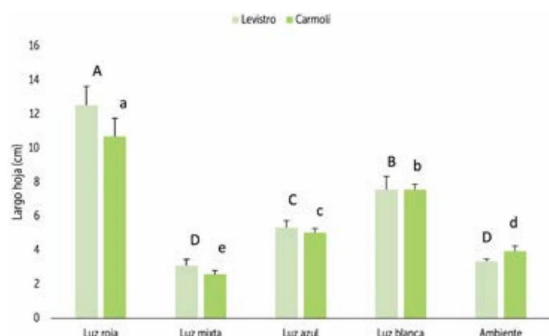


Figura 10. Largo de la hoja de dos cultivares de lechuga bajo diferentes espectros de luz. Letras distintas en la misma barra de color indican diferencias significativas para la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Promedio ($n = 4$) \pm desviación estándar.



las plántulas sometidas al espectro de luz mixto, azul y ambiente presentaron el menor largo de hoja y mantuvieron la forma de roseta característica de este tipo de lechuga (Figuras 10 y 11).

SE RECOMIENDA EL USO DE LUZ AZUL O MIXTA

Las plantas, además de utilizar la luz para el proceso de fotosíntesis, también la usan como fuente de información que se traduce en el cambio de crecimiento y desarrollo. Según los resultados obtenidos en este ensayo, el efecto de los espectros sobre las características agronómicas es dependiente del cultivar. En ambos cultivares de lechuga, Levistro y Carmolí, se observó un mayor peso fresco en las plántulas tratadas con el espectro de luz rojo. Este aumento se debería a que las plántulas bajo dicho espectro presentan hojas más anchas y alargadas, así como también tallo y entrenudos más alargados (Figura 11). Así la luz roja tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento de la planta, debido a que los fotoreceptores tienen sus picos de sensibilidad en la región roja del espectro de luz, lo que provocaría la expansión de la hoja y alargamiento del tallo. Dichas características en las plántulas de lechuga no son adecuadas y afectan su calidad, al volverse etioladas y perder la forma de roseta característica de estos cultivares.

En cuanto a la materia seca, en ambos cultivares de lechuga, los mayores valores fueron ob-

tenidos en las plántulas tratadas con luz mixta y azul. Las plántulas mantenidas en luz azul y mixta podrían aclimatar la fotosíntesis para la fijación de CO_2 y así aumentar la tasa fotosintética y con ello acumular más materia seca. En base a los resultados obtenidos se recomienda el uso de luz azul o mixta (rojo, azul y verde) para obtener plántulas de los cvs. Levistro y Carmolí con un alto porcentaje de materia seca y la forma de roseta característica de estos cultivares de lechuga.

IMPORTANTES BENEFICIOS AL USAR TECNOLOGÍA LED

El uso de la tecnología LED permitiría a los productores de plantines y agricultores obtener importantes beneficios en la producción. Se recomienda el uso de luz azul y mixta en los cvs. Levistro y Carmolí porque reduce los días en que se alcanza la máxima germinación. En cambio, la luz blanca se recomienda en los cvs. Lavinia y Maira para acortar el ciclo fenológico del cultivo. A nivel de germinados, se recomienda la luz azul en los cvs. Levistro y Carmolí, porque permitió obtener brotes con un alto porcentaje de materia seca. Para la producción de plantines de Levistro y Carmolí, la luz azul y mixta fueron las recomendadas porque mejoraron la calidad intrínseca, al generar plántulas con mayores porcentajes de materia seca y una mejor calidad extrínseca, al mantener la forma de roseta característica de estos cultivares. **Ra**



Figura 11. Plántulas de lechuga cv. Levistro y Carmolí bajo distintos espectros de luz LED. A) Luz roja; B) Luz mixta; C) Luz azul; D) Luz blanca y E) Ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto FIC "TRANSFERENCIA AUMENTO VALOR FUNCIONAL ORGANOLÉPTICA HORTALIZAS (cod. 30474703-0)" de la Región de O'Higgins por la financiación de este trabajo. También se agradece a la Beca Doctorado Nacional CONICYT (cod. 21170728) para el Sr. Hernández.

LITERATURA CITADA Y CONSULTADA

Furche C. y Martínez H. Identificación y análisis de las fortalezas y restricciones del crecimiento agroalimentario chileno al año 2017. *Qualitas Agroconsultores*. Diciembre, 2011. <http://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2011/12/crecimientoAgroalimentarioChileno.pdf>
 Hung H., Josphipura K., Jiang R., Hu F., Hunter D., Smith-Warner S., Colditz G., Rosner B., Spiegelman D. y Willett W. 2004. Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal National Cancer Institute*. 96 (21): 1577-1584.
 Kosai T., Fujiwara K. y Runkle, E. 2016. LED lighting for urban agriculture. Editorial Springer.