

Innovaciones en la producción de hortalizas para alimentar el futuro

Víctor H. Escalona
CEPOC - Universidad de Chile
vescalona@uchile.cl



ÍNDICE:

PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS

LUMÍNICOS

EFECTOS DEL ESPECTRO PAR

MICROGREENS

OTRAS PROYECCIONES

ANTECEDENTES SITUACIÓN MUNDIAL

Demográfico

POPULATION
GROWTH =
HIGHER DEMAND
FOR FOOD



10 billion

world population in 2050

=



70%

More food to be produced by farmers

URBANIZATION
DRIVES CHANGE IN
CONSUMPTION
PATTERN



36.4 kg

processed food and meat annual
per capita meat consumption
1997-1999

→



45.3 kg

processed food and meat annual
per capita meat consumption
2030

ECONOMÍA | PANAMÁ

El cambio climático pone en jaque ruta del Canal de Panamá

Andrea Ariet

22/08/2023

Los expertos señalan que las restricciones al tránsito por esta vía marítima a causa de la falta de precipitaciones podrían alterar las cadenas de suministro a nivel mundial.

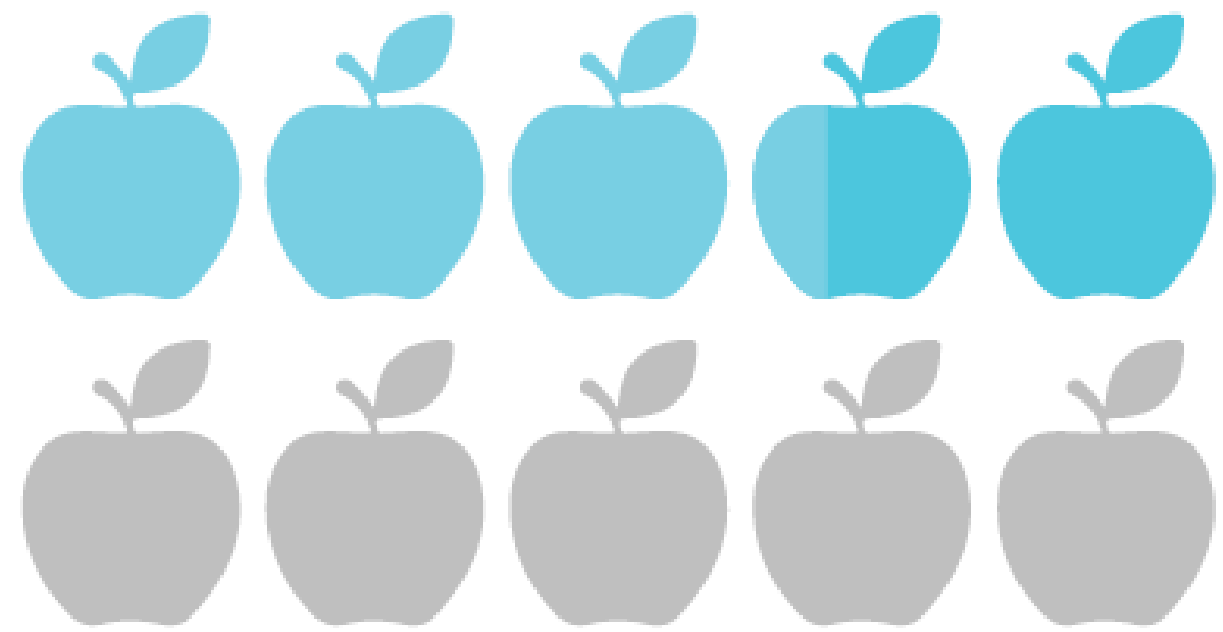


El Canal de Panamá opera con agua dulce, por lo que está sujeto a los cambios en las precipitaciones y a los niveles de embalses cercanos como como el lago Gatún.
Imagen: Courtesy of the Panama Canal Authority

Fecha: 22/08/2023

<https://www.dw.com/es/el-cambio-clim%C3%A1tico-pone-en-jaque-ruta-del-canal-de-panam%C3%A1/a-66603003>

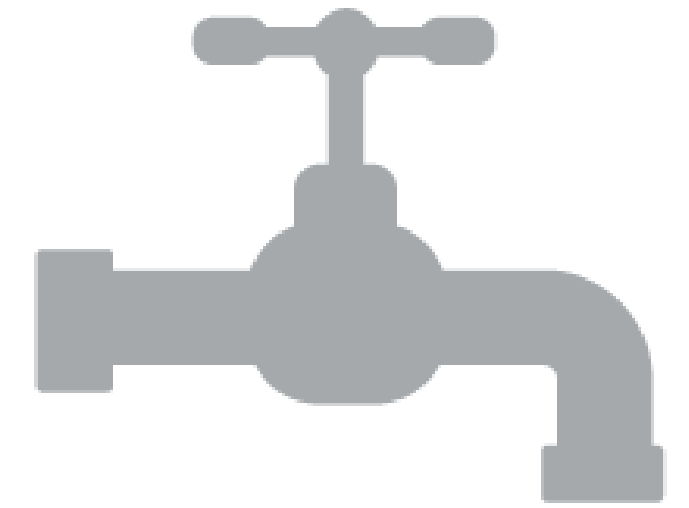
Pérdida de agua



between

33%-50%

=

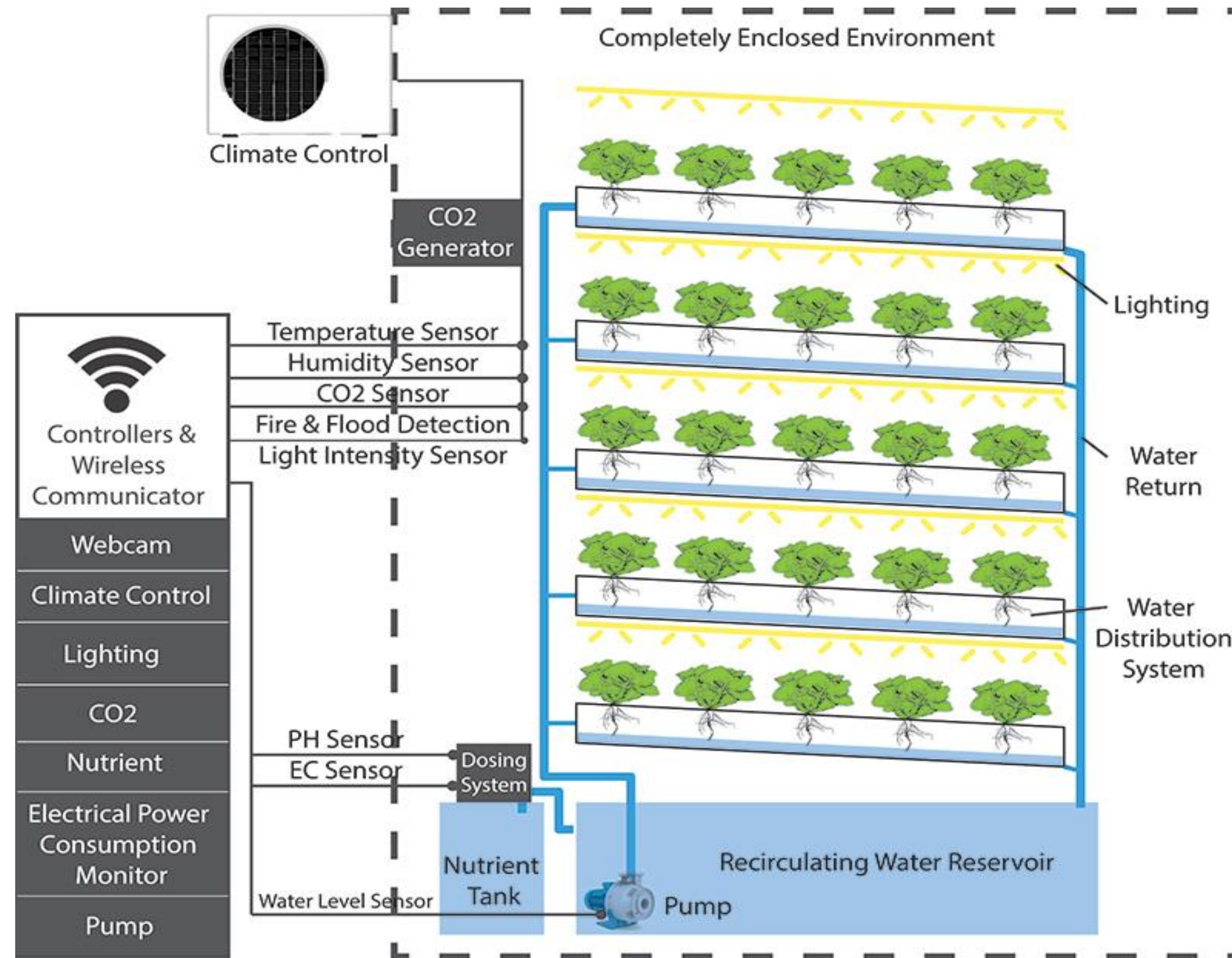


25%

of all fresh water
consumption globally

3rd

largest emitter of greenhouse gases after **China** and the **US**, if food waste were a country



Esquema de producción y capacitación

Puede usarse como una sala de capacitación móvil, ofreciendo a los agricultores, empresarios, estudiantes y la comunidad, la oportunidad de aprender sobre el cultivo controlado.



Agricultura convencional

Invernaderos de temperatura controlada

Contenedor

Ciclos: 1-2 (4)

6

8- 10

Producción anual: Estacional

Depende del clima

Si

Garantía de producción: No

No

Si

1 ha: 20 Tons *USA Lettuce

420 Tons*North Carolina State University

3000 ton

Eficiencia en el uso de agua (anual):

270,000 Gallons / Acre*University of Arizona

321,200 Gallons (2,200sf greenhouse) *University of Arizona

27,000 Gallons

Uso de fertilizantes / Acre:
90lb N - 175lb P - 100lb K

75% less

80% less

Sabor: Altamente variable

Variación estacional

Consistente

Distribución: compleja e ineficiente

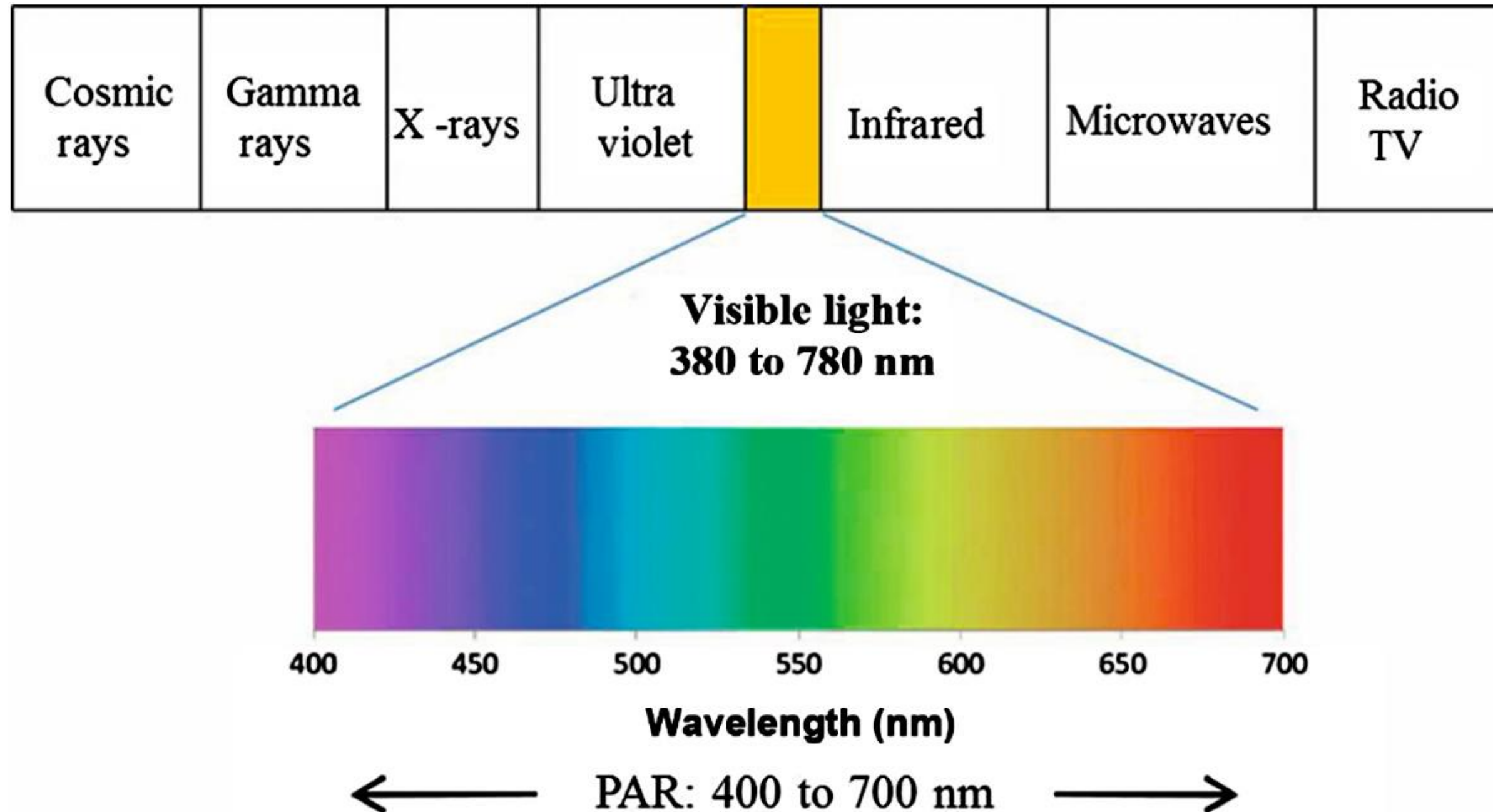
Simple cerca del consumidor

Simple cerca del consumidor

Aplicación de tratamientos lumínicos en hidroponía

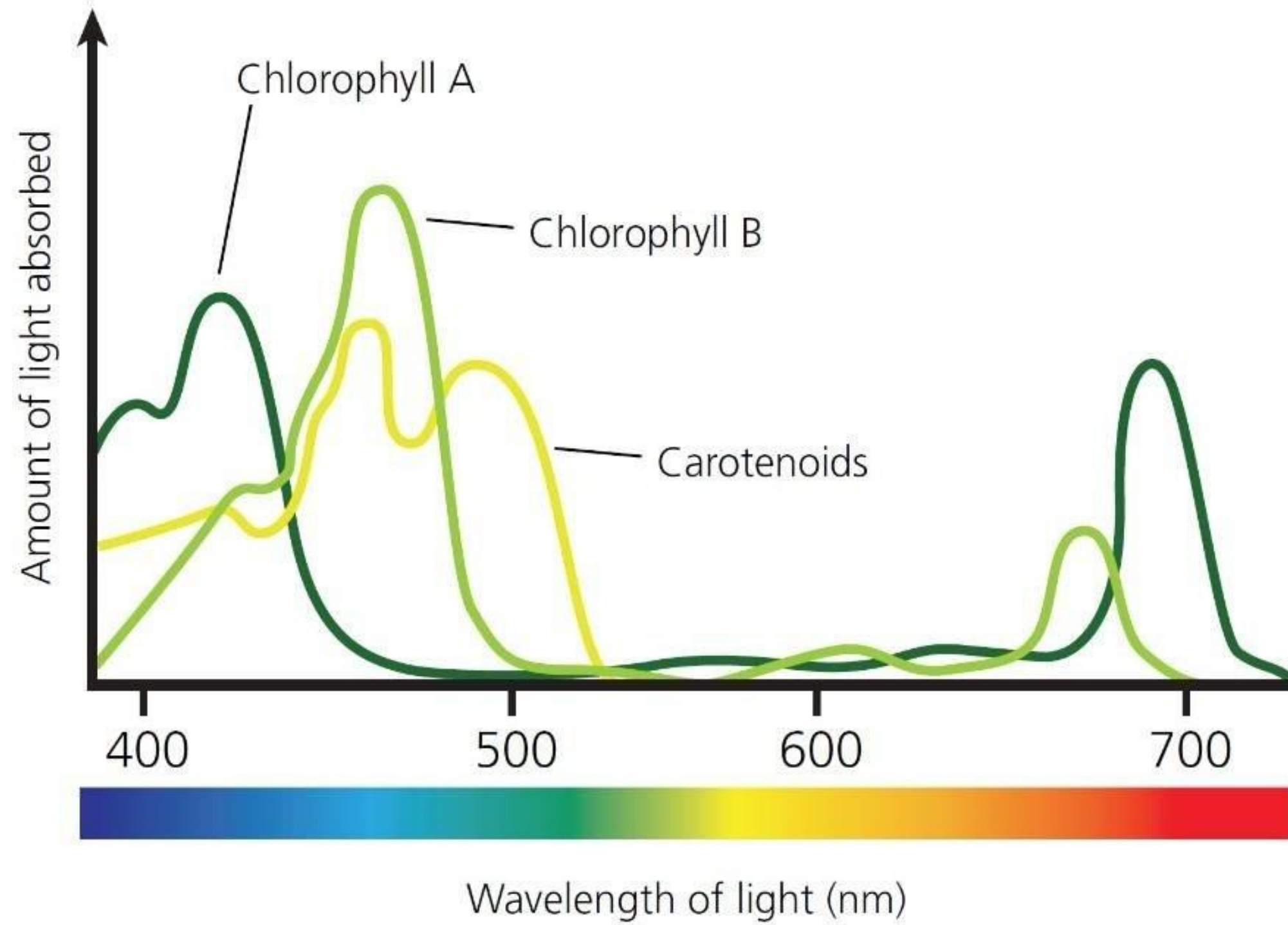


Espectro electromagnético



Espectro RFA

Pigmentos



Componentes de la luz

•1.Cantidad



Intensidad
 $\mu\text{mol} * \text{m}^{-2} * \text{s}^{-1}$

2.Calidad



Espectro

3.Duración

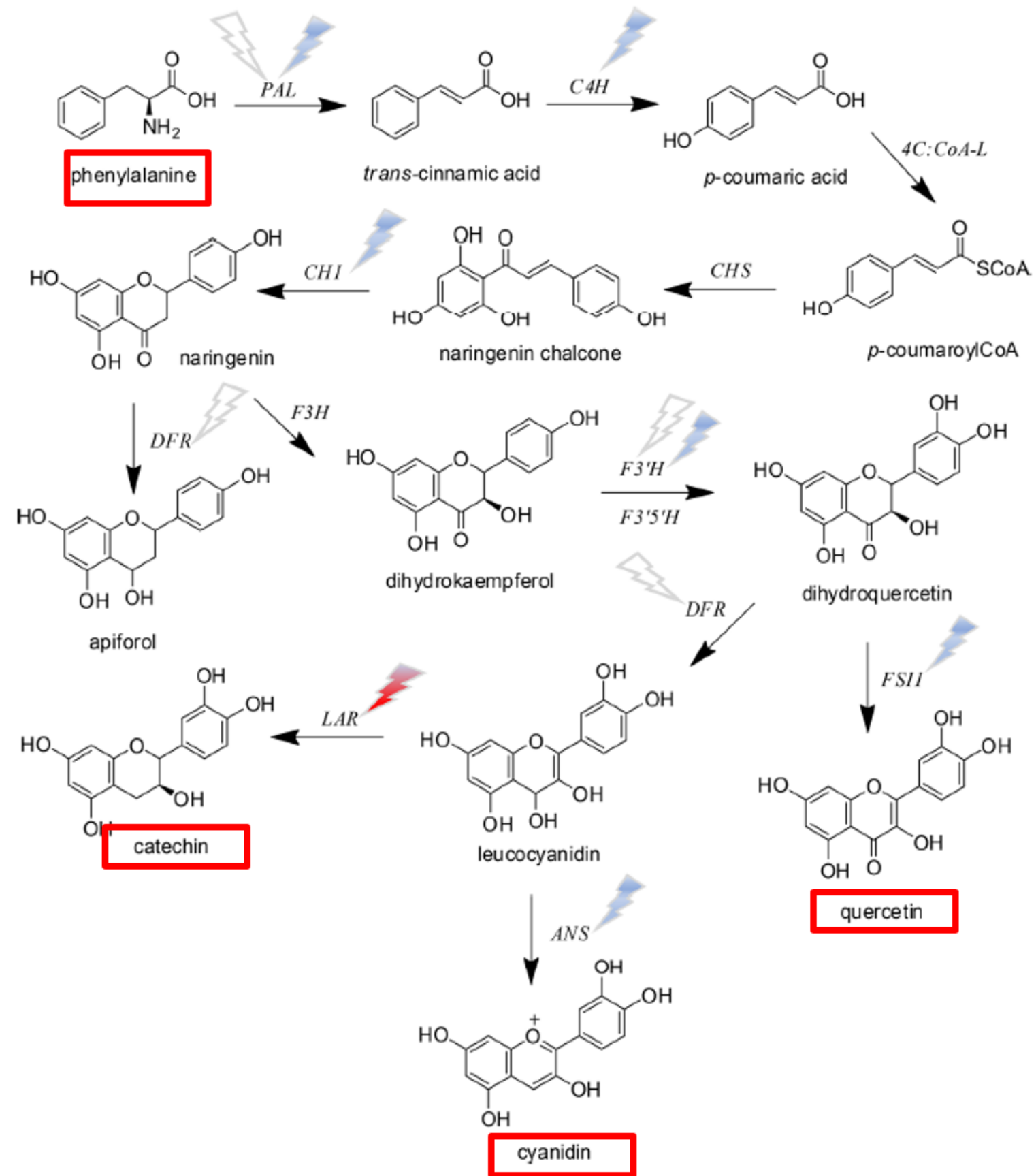


Fotoperiodo

Dependiente de la especie
12-16 horas luz
12-8 horas oscuridad

Efecto del tipo de espectro luminoso en las plantas

Fotones azules (400-499 nm)	Fotones verde- amarillos (500-599 nm)	Fotones naranja-rojos (600-700 nm)	Fotones rojo lejano (701- 800 nm)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Crecimiento denso ✓ Sanidad y apariencia ✓ Producción de clorofila y el intercambio gaseoso 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor cantidad de crecimiento por fotón ✓ Penetración para el crecimiento de la sub-canopia ✓ Apariencia 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Más eficiente en el crecimiento ✓ Mejor absorción de la clorofila ✓ Crítico para la floración y el control del largo del día 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apoyar la función total de la planta ✓ Intercambio de la eficiencia fotosintética de otras longitudes de onda ✓ Control del largo del día

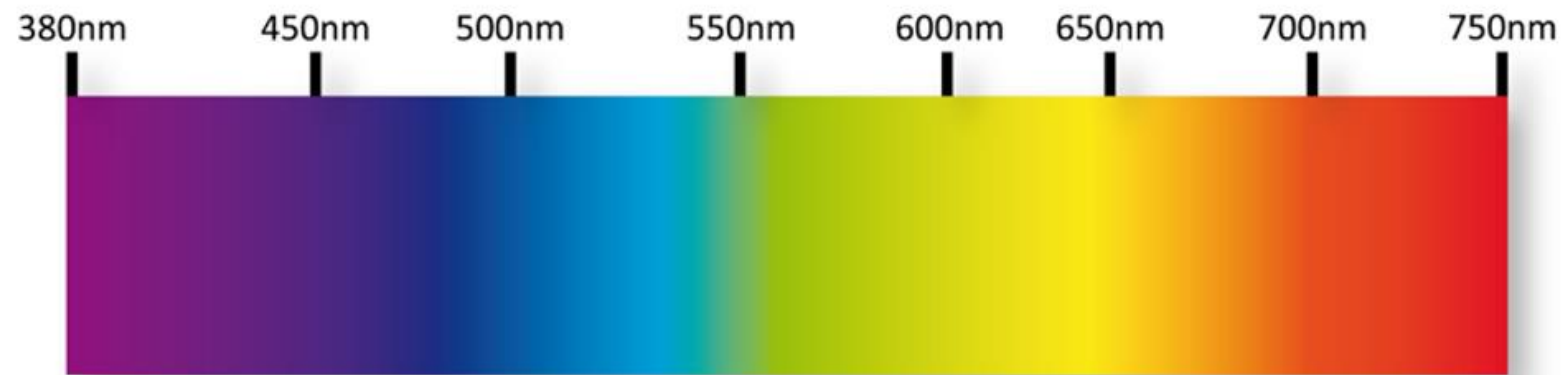


Efectos de las luces Blancas, Azules y rojas en la actividad de enzimas de la ruta de los fenilpropanoides.

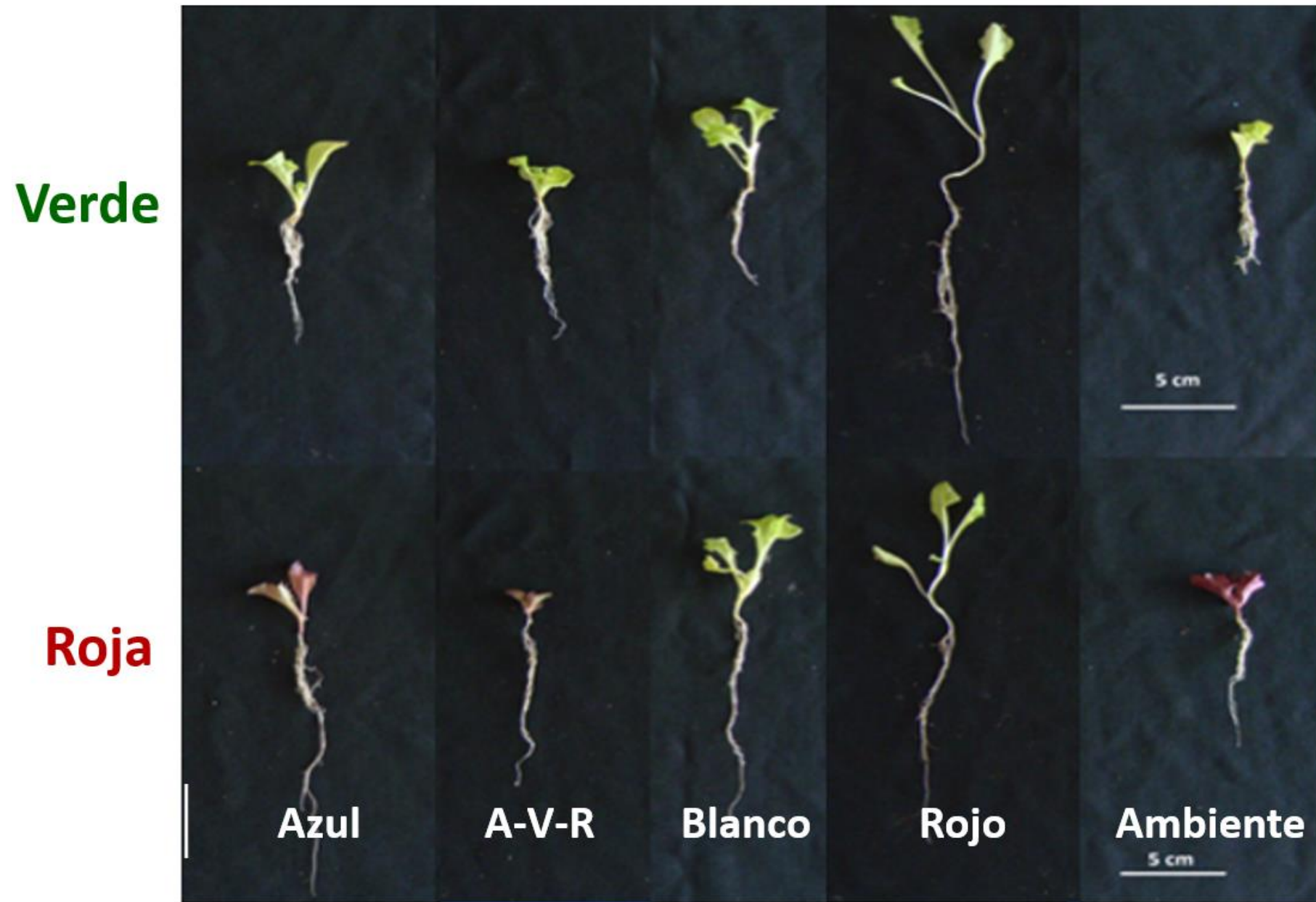
Colored figures (lightening bolts) represent the LED light treatment imparted by W, R, and B lights and the corresponding synthesis of the listed antioxidant compounds. All enzymes with a colored figure were upregulated by the LED lights. PAL, phenylalanine ammonia-lyase; C4H, cinnamate-4-hydroxylase; 4C:CoA-L, 4-F3 F3'5 coumaroyl:CoA-ligase; CHS, chalcone synthase; CHI, chalcone isomerase; F3H, flavanone-3-hydroxylase; 'H, flavanoid-3-hydroxylase; 'H,3'5' flavanoid- -hydroxylase; FSI, flavone synthase II; DFR, dihydroflavonol 4-reductase; ANS, anthocyanidin synthase; and LAR, leucocyanidin.45 reductase.

Propiedades e importancia de la longitud de onda de la luz

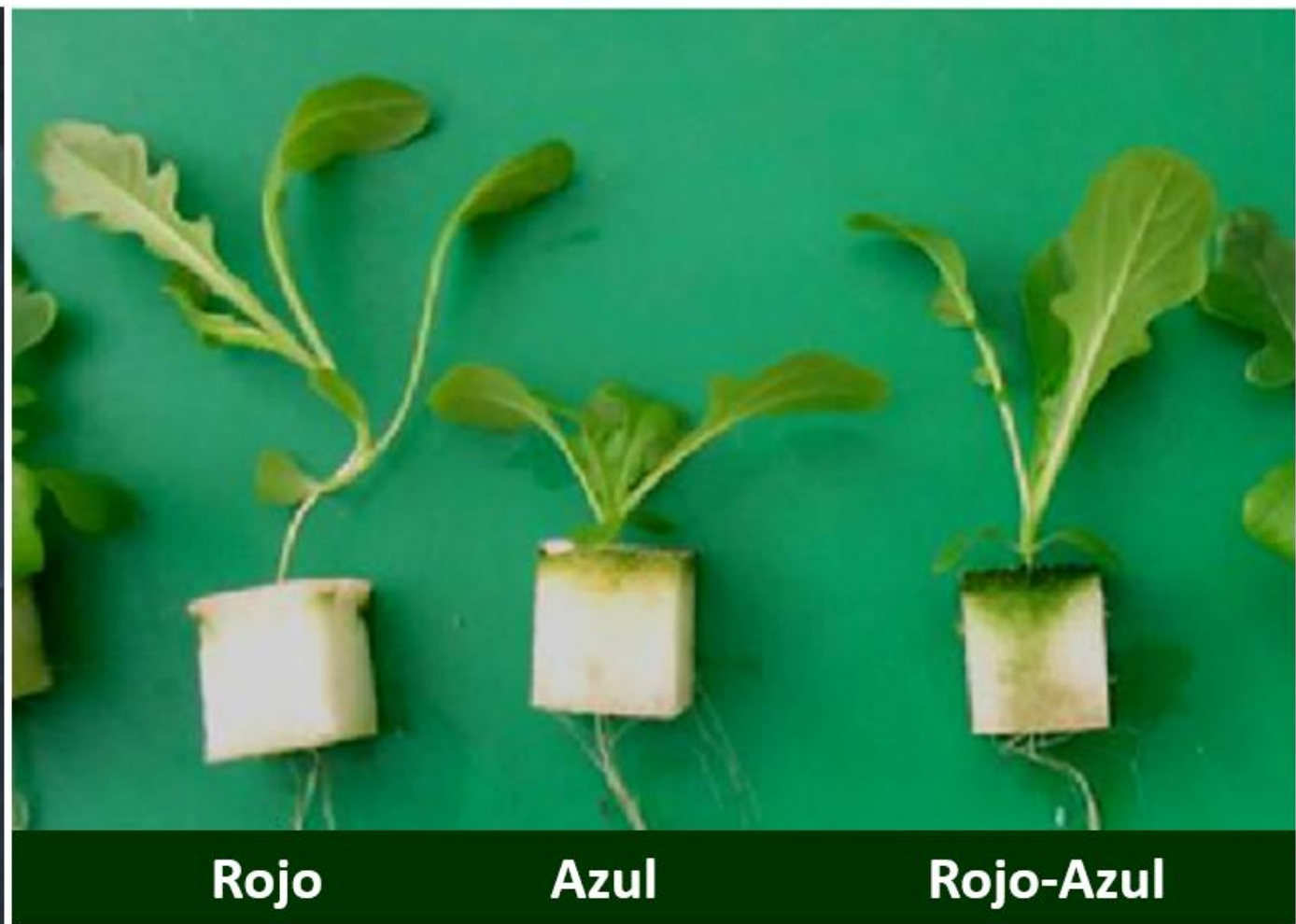
Clasificación	Long de onda (nm)	Importancia
UV-C	100-280	Desinfección
UV-B	280-320	Fotomorfogénesis (quemaduras solares, inhibición del alargamiento del tallo), producción de metabolitos secundarios de la planta, desórdenes y daños fisiológicos
UV-A	320-380	Fotomorfogénesis, metabolitos secundarios, fotorreactivación
Visible	380-780	Fotosíntesis, fotomorfogénesis (germinación de semillas, eliminación de plántulas, respuesta para evitar la sombra, oscilación circadiana, hipocótilo y fototropismo de raíces, respuesta de reproducción) y producción de metabolitos secundarios de plantas
Fotosintéticamente activa	400-700	
Fisiológicamente activa	300-800	
Rojo lejano	700-800 (extremo en el espectro visible, entre luz roja e infrarroja)	Fotomorfogénesis (germinación de semillas, etiolación de plántulas, respuesta para evitar la sombra), fotosíntesis (excitación del fotosistema I)
Infrarojo cercano	780 - 2500	Calor
Infrarojo	> 25000	Calor



RESPUESTA MORFOGÉNICA



Hernández-Adasme et al., 2022








Chen et al., 2014

PAR: Suplementación LED en plantas de lechuga baby verde



<http://www.agronomia.uchile.cl/>

Peso fresco y seco (%) de lechugas baby (cv. Levistro) tratadas durante 14 d.

Tratamiento ¹	Relación R:A	PAR ²	Peso fresco	Peso seco	Número hojas planta ⁻¹	
		$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	g planta^{-1}	% planta ⁻¹	Extendida	Total
60:16:16:8	 0.3:1	364 ± 22	17.04 ns	6.86 ns	6.6 ns	11.0 ns
28:42:22:8	 0.8:1	339 ± 50	18.27	7.00	6.9	10.6
31:20:40:9	 <u>1.3:1</u>	356 ± 24	18.53	7.18	7.1	10.9
15:20:57:8	 3.8:1	353 ± 34	19.43	6.95	7.2	11.0
N26:30:30:14³	 <u>1.2:1</u>	747 ± 218	19.03	7.15	7.9	10.7

¹Values correspond to the percentage of blue, green, red and far-red components, respectively, of the incident light on the plants.

²Photosynthetically active radiation.

³N26:30:30:14= natural light (control).

ns: not significant

Concentración de compuestos fenólicos identificados en lechugas baby 'Levistro' tratadas durante 14 días.

Tratamiento ¹ A:V:R:RL	Relación R:A	PAR ² $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Ác.	Ác.	Quercetina total
			clorogénico	chicórico	
			$\text{mg g}^{-1} \text{PS}$		
60:16:16:8	0.3:1	364 ± 22	4.5 ab	4.3 ns	3.6 b
28:42:22:8	0.8:1	339 ± 50	4.2 b	4.6	8.9 a
31:20:40:9	<u>1.3:1</u>	356 ± 24	5.2 a	4.8	7.9 a
15:20:57:8	3.8:1	353 ± 34	3.9 bc	5.0	3.4 b
N26:30:30:14³	<u>1.2:1</u>	747 ± 218	3.8 c	4.7	3.7 b

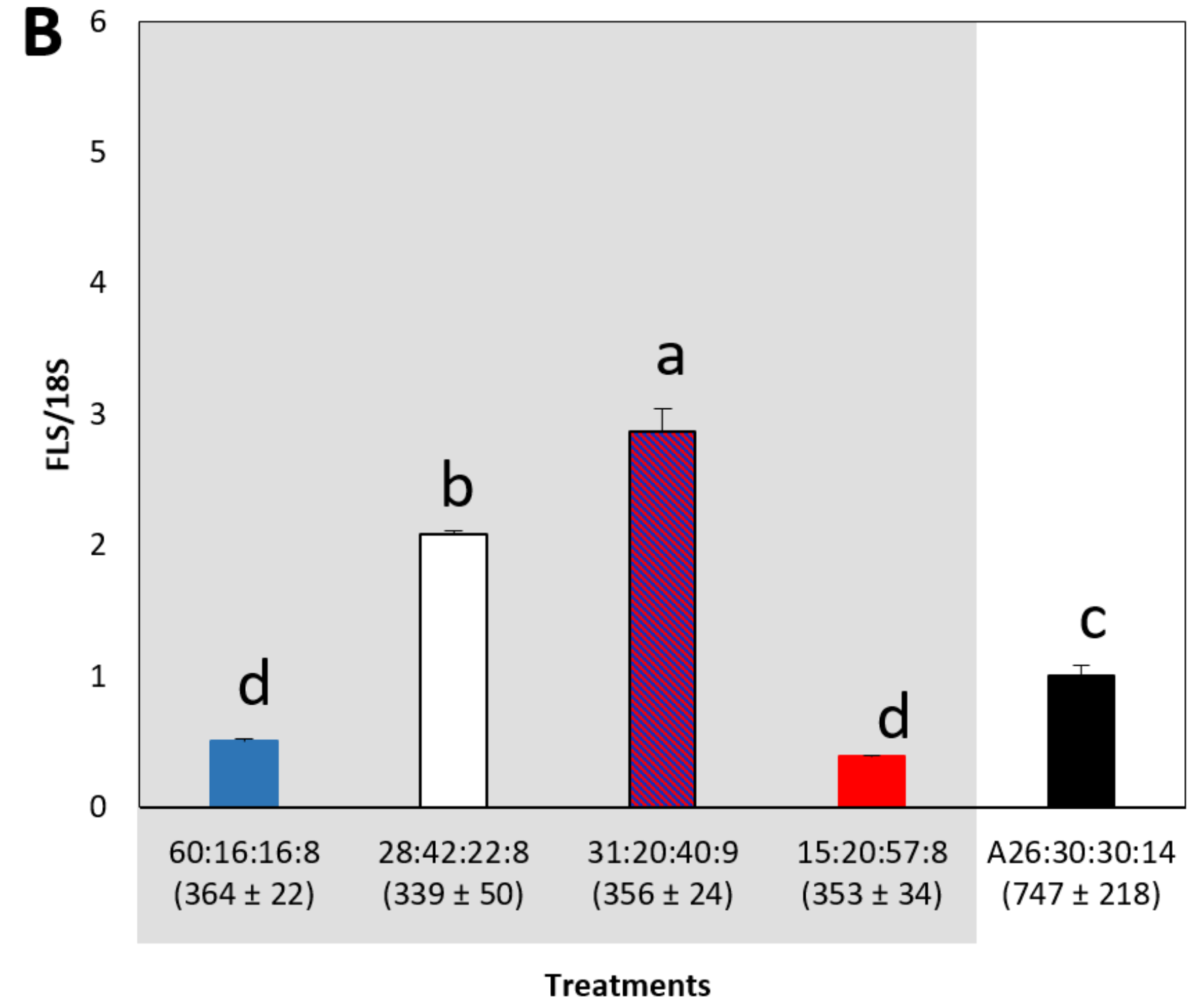
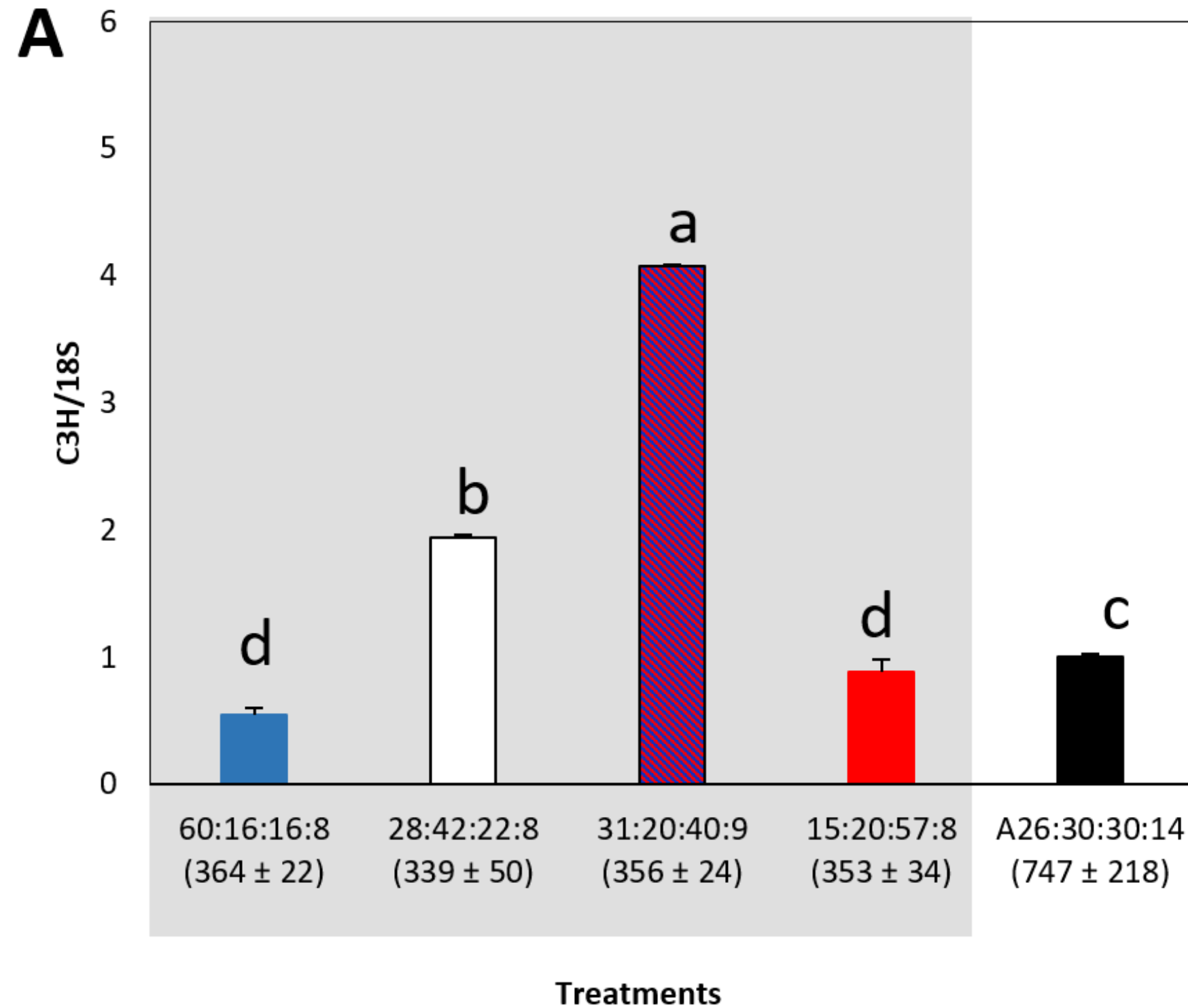
¹Values correspond to the percentage of blue, green, red and far-red components, respectively, of the incident light on the plants.

²Photosynthetically active radiation.

³N26:30:30:14= natural light (control).

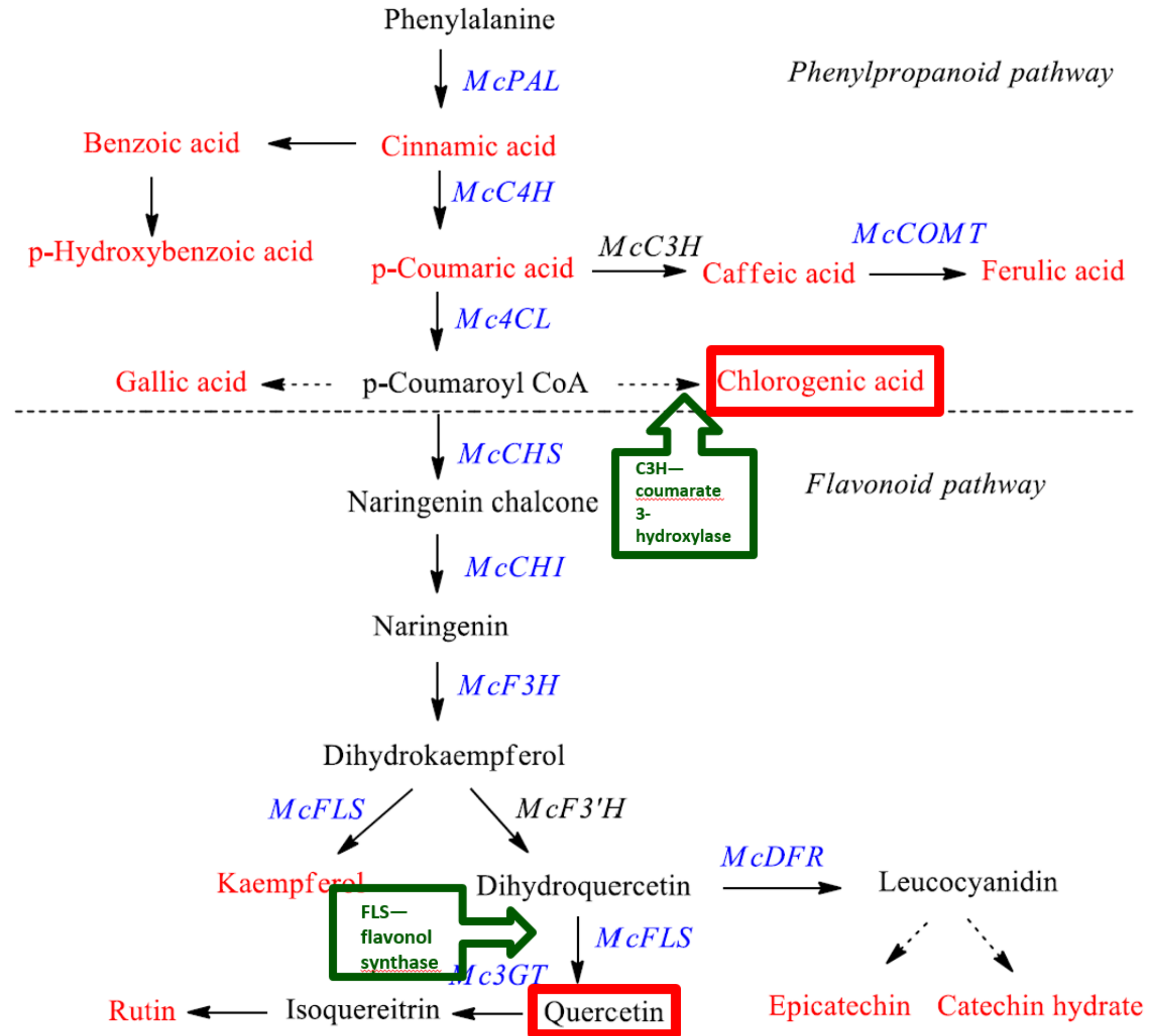
ns: not significant

Expresión relativa de genes de cumarato 3-hidroxilasa (C3H) (A) y flavonol sintasa (FLS) (B) de lechuga baby 'Levistro'.



Efectos de las luces Blancas, Azules y Rojas en la actividad de enzimas de la ruta de los fenilpropanoides.

Colored figures (lightening bolts) represent the LED light treatment imparted by W, R, and B lights and the corresponding synthesis of the listed antioxidant compounds. All enzymes with a colored figure were upregulated by the LED lights. PAL, phenylalanine ammonia-lyase; C4H, cinnamate-4-hydroxylase; 4C:CoA-L, 4-F3 F3'5 coumaroyl:CoA-ligase; CHS, chalcone synthase; CHI, chalcone isomerase; F3H, flavanone-3-hydroxylase; 'H, flavanoid-3-hydroxylase; 'H,3'5' flavanoid- -hydroxylase; F5H, flavone synthase II; DFR, dihydroflavonol 4-reductase; ANS, anthocyanidin synthase; and LAR, leucocyanidin.45 reductase.



Apariencia visual de lechugas baby

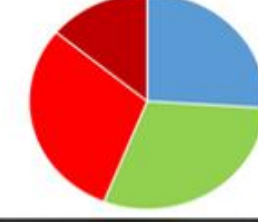
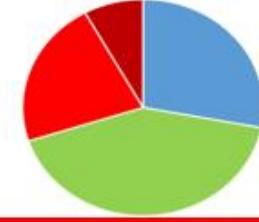
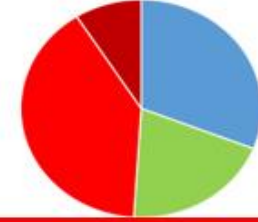
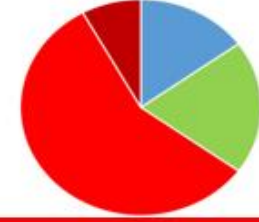
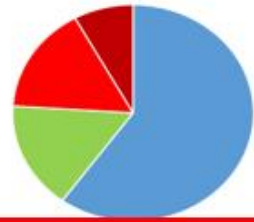
0.3:1

3.8:1

1.3:1

0.8:1

Natural light



Indoor.

Luces LED de alta intensidad y enriquecidas en rojo aumentaron el crecimiento de la lechuga y endivia



pagepress

Italian Journal of Agronomy 2022; volume 17:1915

High intensity and red enriched LED lights increased the growth of lettuce and endive

Monica Flores,¹ Miguel Urrestarazu,² Asuncion Amorós,³ Victor Escalona^{1,4}

Flores et al., 2021

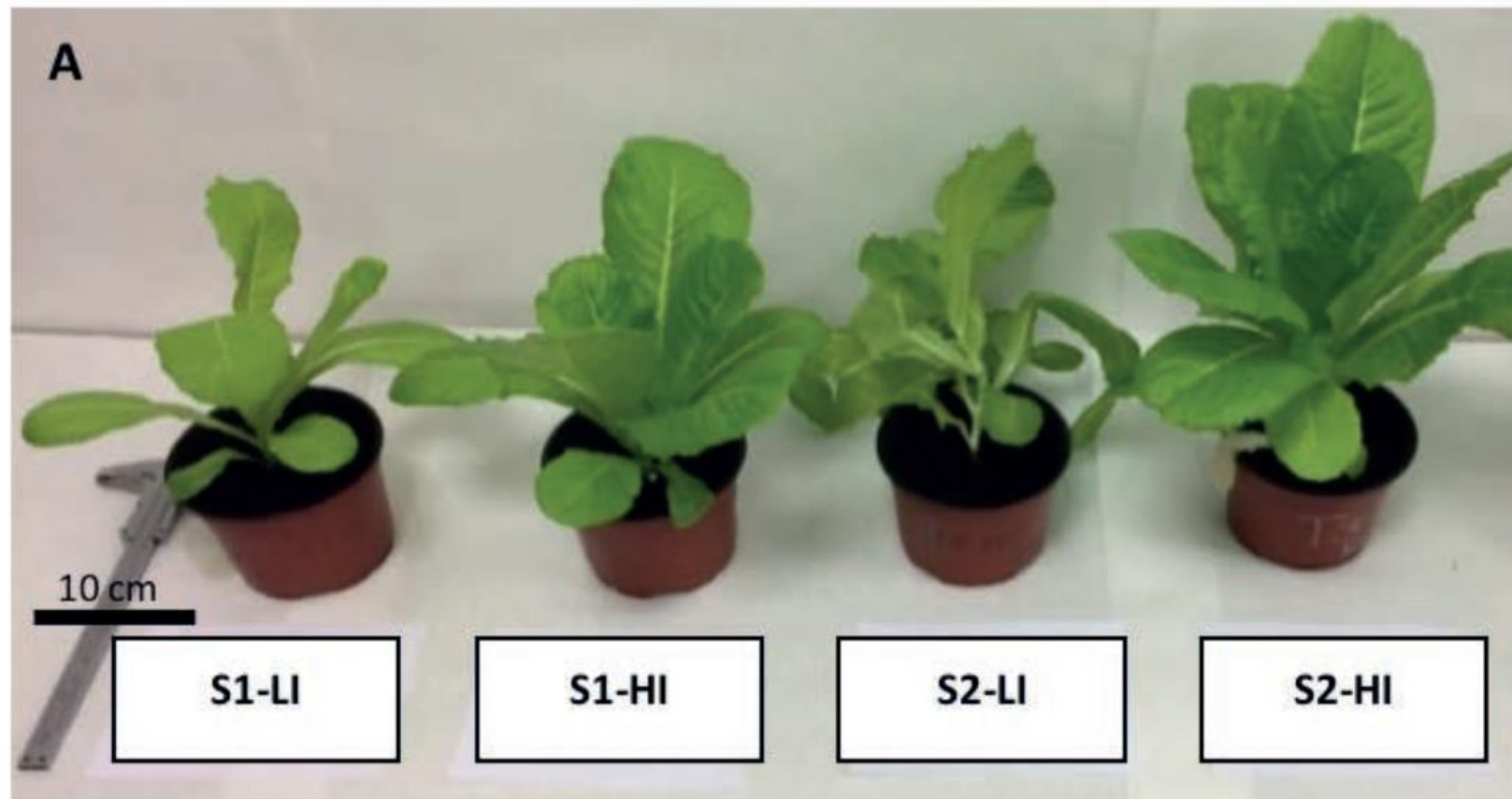
LED light setting.

E1: White light; E2: AP67L.

LI: Baja intensidad ($70 \mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{s}$). HI Alta intensidad ($102 \mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{s}$).

Forma y tamaño de lechuga creciendo bajo dos espectros e intensidades de LED.

S1, Espectro 1 (Luz blanca); S2, espectro 2 (AP67L); LI, Baja intensidad; HI, Alta intensidad



Composiciones espectrales e intensidades de luz sobre parámetros de crecimiento de lechuga.

	Nivel	PF (g)		PS%		Índice SPAD	AF (cm ² ·plant ⁻¹)
		Hoja	Raíz	Hoja	Raíz		
Espectro (S)	S1	12.72 b	1.45 b	5.15 a	7.89 b	20.77 a	865.96 b
	S2	23.68 a	2.94 a	5.41 a	8.67 a	21.03 a	1410.06 a
Intensidad (I)	LI	11.01 b	1.24 b	5.04 a	8.40 a	18.88 b	755.23 b
	HI	25.01 a	3.14 a	5.52 a	8.16 b	22.91 a	1520.79 a

Composiciones espectrales e intensidades de luz sobre el contenido total de fenoles, contenido de flavonoides y actividad antioxidante en lechuga

	Nivel	Fenoles mg GAE·100g ⁻¹ FW	Flavonoides mg RutEq·100g ⁻¹ FW	DPPH mg Trolox·100g ⁻¹ FW	FRAP mg Trolox·100g ⁻¹ FW
Espectro (S)	S1	147.54 ns	381.10 ns	662.52 b	411.06 ns
	S2	164.75	434.00	976.14 a	447.07
Intensidad (I)	LI	140.18 b	335.09 b	597.52 b	357.24 b
	HI	172.11 a	480.00 a	1041.14 a	500.89 a

Luces LED de alta intensidad y enriquecidas en rojo aumentaron el crecimiento de la lechuga

Conclusiones

- ✓ El espectro de luz con una mayor proporción de rojo y rojo lejano (S2) elevó los pesos fresco y seco en comparación con la luz blanca (S1).
- ✓ Los espectros no modificaron los contenidos de antioxidantes.
- ✓ Ambos espectros incrementaron los parámetros de crecimiento y TPC en la intensidad más alta ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$).
- ✓ Los niveles de S2 y HI podrían considerarse óptimos.

ÍNDICE:

PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LUMÍNICOS

EFFECTOS DEL ESPECTRO PAR

MICROGREENS

OTRAS PROYECCIONES

Microgreens. Especies

Amaranto



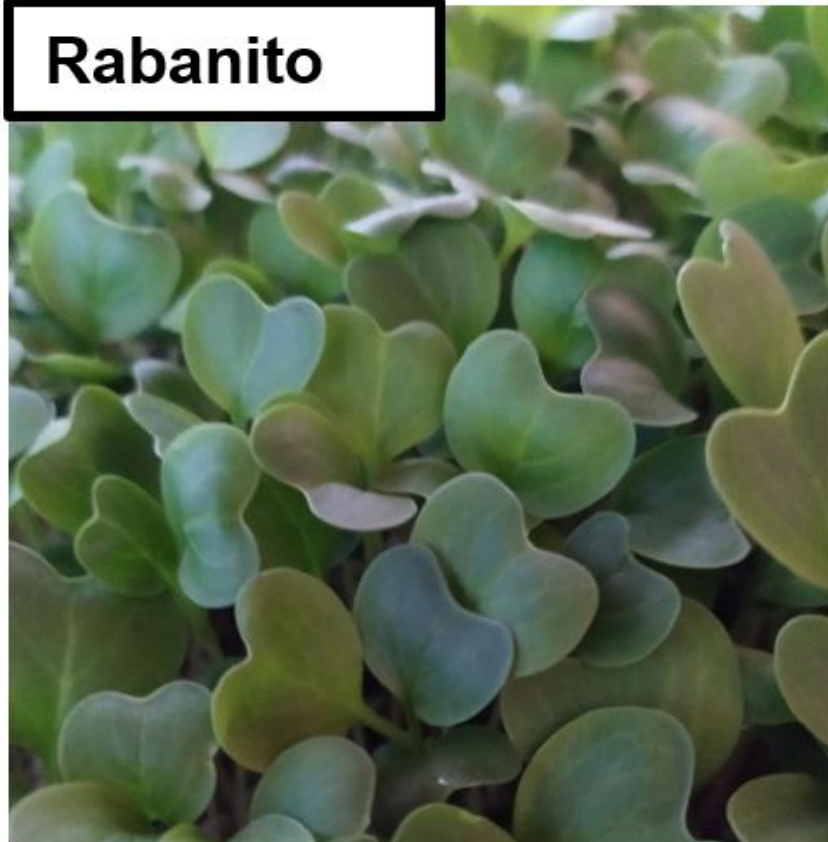
Kale verde



Repollo morado



Rabanito



Mostaza negra



Mizuna roja



Especie	Ácido ascórbico total (mg/100 g PF)		Micro/maduro
	Microgreens	Maduro	
Repollo morado	147,0	24,4-57,0	3 - 6
Amaranto granate	131,6	11,6-45,3	3 -11
βcaroteno (mg/100 g PF)			
Cilantro	11,7	3,9	3
Repollo morado	11,5	0,044	261
Luteína/zeaxantina (mg/100 g PF)			
Cilantro	10,1	0,9	11
Repollo morado	8,6	0,3	29
Violaxantina (mg/100 g PF)			
Cilantro	7,7	1,4	5,5
Vitamina E (mg/100g PF)			
Repollo morado	34,4	0,06	573
Vitamina K (μg/g PF)			
Amaranto granate	4,09	1,14	4
Albahaca verde	3,20	0,41	8
Repollo morado	2,77	0,04	69

Cultivo

Cultivo en campo o invernadero y en cámaras de crecimiento bajo luz artificial.



Invernadero COOPEUMO



Cámara crecimiento indoor con
iluminación LED CEPOC UChile

Cultivo de microgreens en invernadero vs condiciones interiores

Especies	Método	Días	Temp (°C)	HR (%)	Intensidad luminosa $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Fotoperiodo Luz / oscuridad
Kale verde	Invernadero	19	14-22*	42-74*	280-1060*	
	Indoor	13	19-25	80-90	160	16/8
Kale rojo	Invernadero	19	14-22*	42-74*	280-1060*	
	Indoor	13	19-25	80-90	160	16/8
Repollo verde	Invernadero	19	14-22*	42-74*	280-1060*	
	Indoor	19	19-25	80-90	160	16/8
Repollo rojo	Invernadero	19	14-22*	42-74*	280-1060*	
	Indoor	19	19-25	80-90	160	16/8
Mostaza verde	Invernadero	13	14-22*	54-74*	280-1060*	
	Indoor	13	19-25	80-90	160	16/8
Mostaza roja	Invernadero	19	14-22*	42-74*	280-1060*	
	Indoor	19	19-25	80-90	160	16/8

* Data from www.agrometeorologia.cl (March 21th, 2021)

Efecto de la intensidad de la luz y el fotoperíodo sobre el rendimiento y la actividad antioxidante de microgreens de betarraga producidos en sistemas indoor

- ✓ Espectro: 23% azul, 75% rojo, 2% rojo lejano
- ✓ Intensidades:
 - ✓ Baja ($120 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 - ✓ Media ($160 \pm 2.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 - ✓ Alta ($220 \pm 2.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- ✓ Fotoperíodos: 12 y 16 h



Article

The Effect of Light Intensity and Photoperiod on the Yield and Antioxidant Activity of Beet Microgreens Produced in an Indoor System

Cristian Hernández-Adasme , Rayen Palma-Días and Víctor Hugo Escalona*



Características agronómicas de microgreens de betarraga bajo los tratamientos de luz

Factor	Rend g m ⁻²	Peso seco %	Altura cm	Área contiledón cm ²	Color L*
Intensidad (I)	*	ns ¹	ns	ns	*
Bajo (L)	459.74 a ²	8.00	3.98	0.52	37.17a
Media (M)	460.50 a	8.94	3.84	0.51	33.76 ab
Alta (H)	358.41 b	8.96	3.67	0.49	30.21 b
Fotoperiodo (P)	*	*	*	ns	ns
12	482.73 a	6.71 b	4.33 a	0.53	36.54
16	369.70 b	10.55 a	3.33 b	0.49	30.88
Interacción (IxP)	ns	ns	ns	ns	ns

Fenoles totales, capacidad antioxidante y betalainas totales en microgreens de betarraba bajo tratamientos de luz.

Factor	Total fenoles mg GAE g ⁻¹ FW	Total betalainas g g ⁻¹ FW	Betacianinas g g ⁻¹ FW	Betaxantinas g g ⁻¹ FW	FRAP mg TE g ⁻¹ FW	DPPH %
Intensidad (I)	ns ¹	*	*	ns	ns	ns
Baja (L)	10.16	0.53 a ²	0.12 a	0.41	35.07	35.13
Media (M)	11.27	0.50 ab	0.11 ab	0.39	38.58	34.05
Alta (H)	11.80	0.34 b	0.08 b	0.27	39.96	36.94
Fotoperiodo (P)	*	*	*	*	*	ns
12	8.99 b	0.31 b	0.07 b	0.24 b	32.37 b	37.13
16	13.16 a	0.61 a	0.13 a	0.48 a	43.37 a	33.61
Interacción (IxP)	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Eficiencia en el uso de energía (EUE) y agua (WUE) durante el cultivo de microgreens de betarraga bajo tratamientos de luz.

Factor	EUE	WUE
	g FW kW ⁻¹ m ⁻²	g FW L ⁻¹ m ⁻²
Intensidad (I)	ns ¹	*
Baja (L)	4.56	33.56 a ²
Media (M)	4.56	33.59 a
Alta (H)	4.04	29.72 b
Fotoperiodo (P)	*	*
12	4.97	36.60 a
16	3.80	28.00 b
Interacción (IxP)	ns	ns

Conclusiones

- ✓ LED mejora microgreens de betarraga roja bajo intensidades bajas y medias y fotoperiodos cortos de 12 h de luz.
- ✓ La menor exposición a la luz hace el cultivo más eficiente en el uso de energía y agua.
- ✓ Fotoperíodos más largos de 16 h de luz afectan positivamente a los compuestos antioxidantes.

ÍNDICE:

PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LUMÍNICOS

EFFECTOS DEL ESPECTRO PAR

MICROGREENS

OTRAS PROYECCIONES

Invernaderos de ambiente controlado



<http://www.groentennieuws.nl/artikel/111825/LED-belichting-geeft-ons-bedrijf-een-voorsprong>

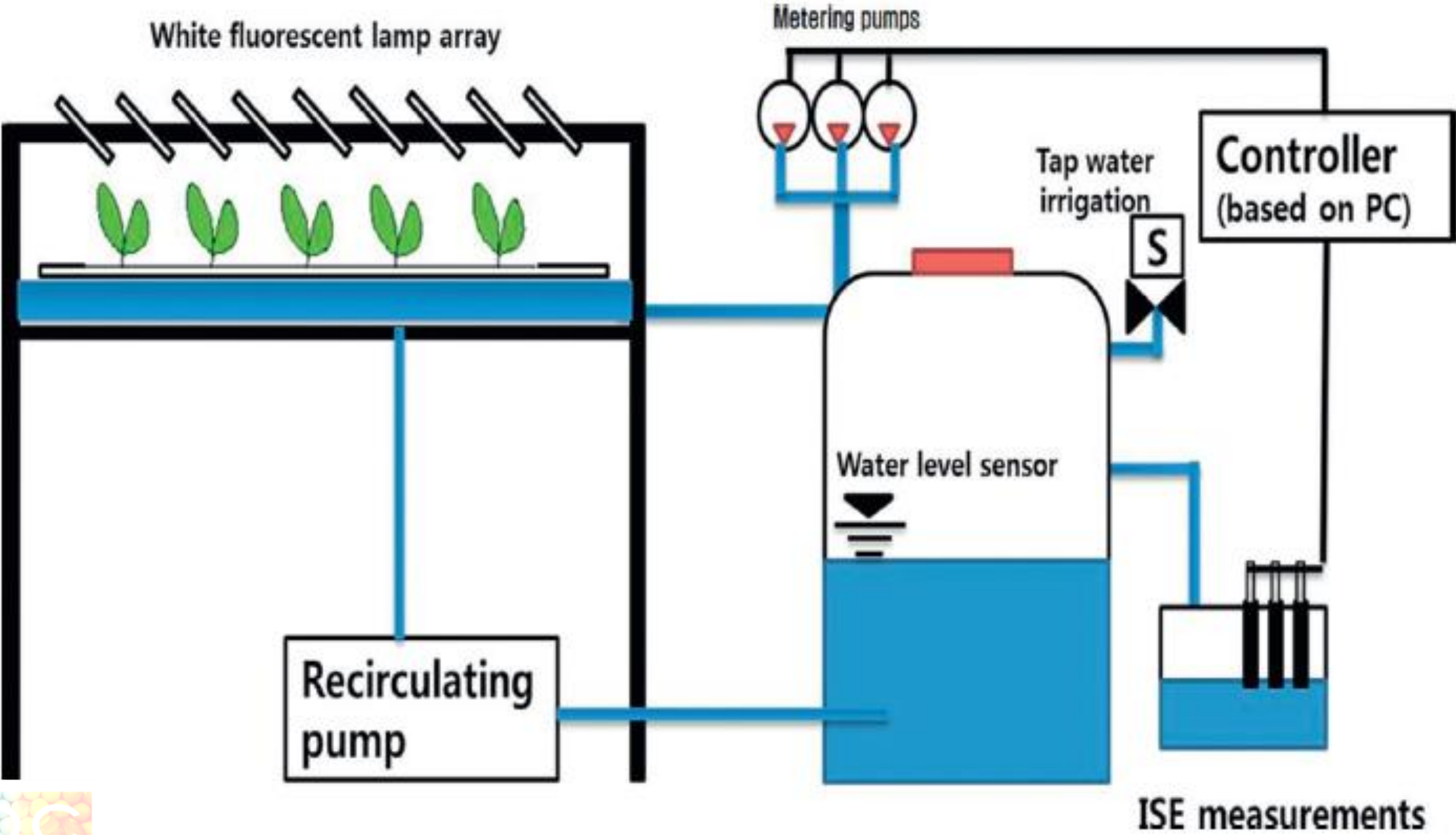
Fábrica de producción de hortalizas (PFAL)



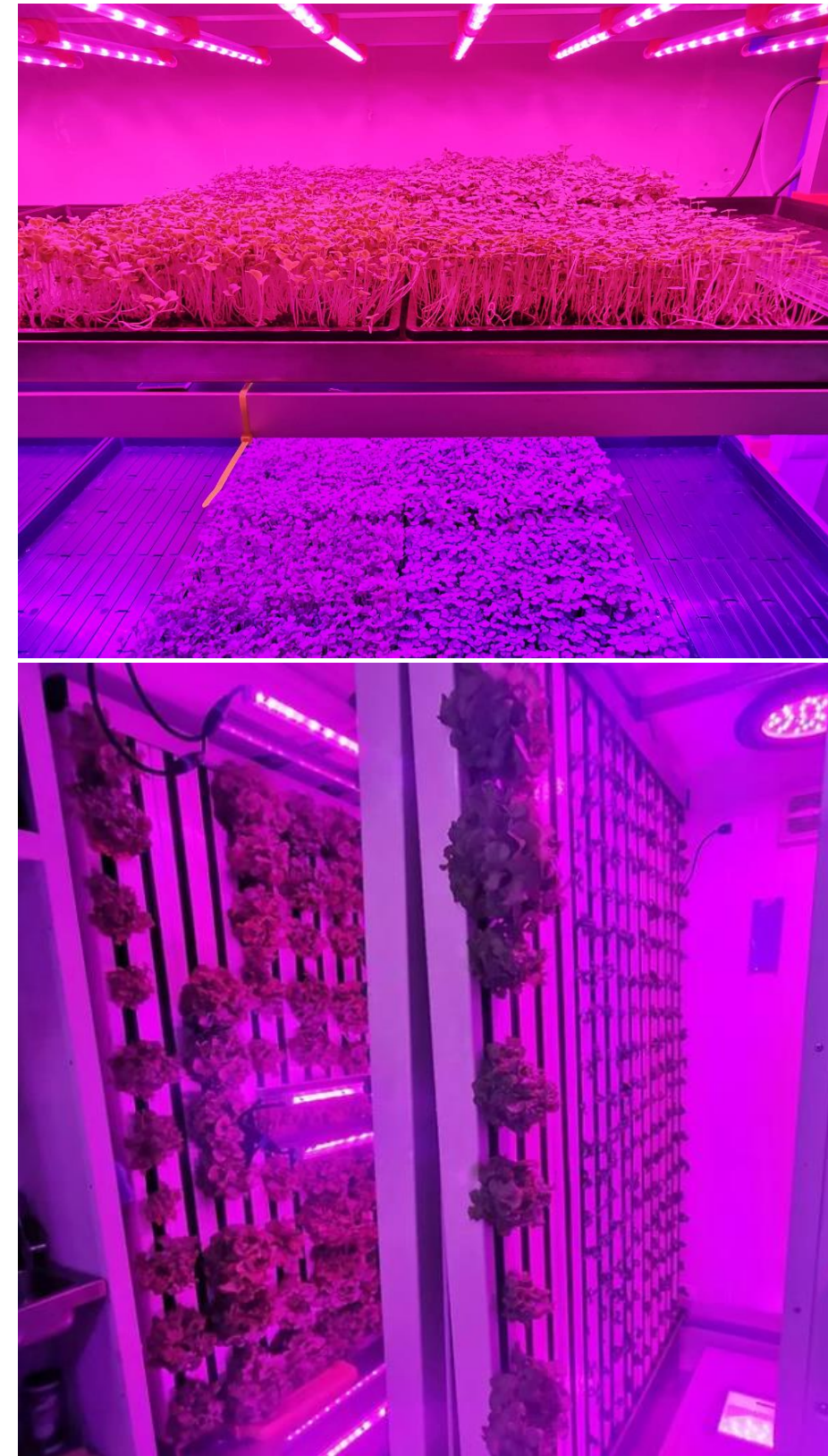
**Superficie 338 m², 10 niveles, 9 filas.
Lechugas de hoja y romanas
3000 unid/d; 1 millón unid/año; 2800 unid/m²/año.**

Toyoki Kozai, 2016

Diagrama de un sistema hidropónico cerrado con control de nutrientes



Chile- FARMTASTICA



<https://www.farmtastica.com/>

boxfera
nolandfood

INICIO PRESENTACIÓN VENTAJAS EQUIPO BLOG CONTACTO

Zona de germinación

Espacio condicionado para la siembra, cosecha y embalaje de los cultivos, cuenta con una zona de germinado de hasta 4.600 plántulas.

Zona de crecimiento

Cuenta con un novedoso sistema de bastidores móviles que permite una producción abundante de hasta 8.800 plántulas.

Paneles de luces LED

Sistema automatizado de iluminación LED que permite una óptima estimulación del crecimiento de las plántulas.

Sistema de riego

Sistema de riego y de recuperación de agua que permite un uso eficiente de este recurso logrando un ahorro de hasta el 95%.

<https://boxfera.com/>

INICIO SUSCRIPCIÓN DONDE ENCONTRARNOS PRENSA **agrourbana** AGRICULTURA VERTICAL AGRICULTURA VERTICAL CONTACTO

WE GO VERTICAL

agrourbana
AGRICULTURA VERTICAL

LISTAS PARA SU CONSUMO

MIX DE LECHUGAS HIDROPONICAS

INFORMACION NUTRICIONAL

Contenido Neto:	500 gr.
Porción:	1 taza / 25 gr.
Porciones por envase:	14 porciones
INFORMACION NUTRICIONAL	
Energía (Kcal)	100
Proteína (g)	2,00
Grasa total (g)	0,00
Carbohidratos (g)	0,00
Almidón (g)	0,00
Fibra (g)	0,00
Sodio (mg)	0,00
PRODUCTO	
Nombre:	MIX DE LECHUGAS HIDROPONICAS
Marca:	AGROURBANA
País:	CHILE
Fecha:	01/2018

Hojas que cuidan.®
Las más frescas,
sabrosas y saludables.
Cultivadas en la
ciudad.

<https://www.agrourbana.ag/>

BOXFERA

AGROURBANA

CEPOC UCH + Lab Robótica UdeC

Sistemas de producción vertical en contenedores (microgreens y lechugas)



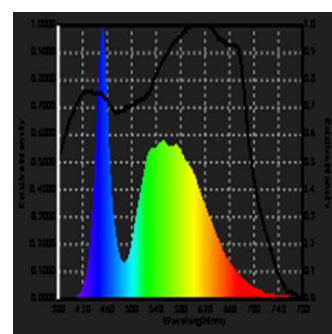
Lechuga verde
cv. Bartimer



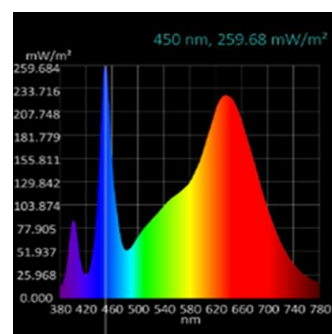
Lechuga roja
cv. Soltero



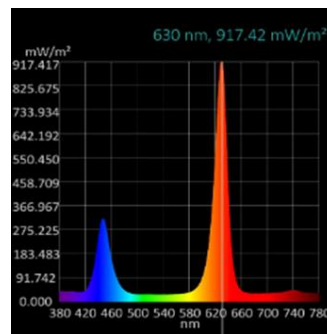
Control (Luz blanca)



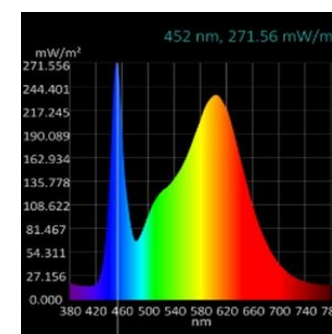
LGL-001



LGL-002



LGL-004



China: Sistemas de producción vertical en contenedores (hojas, plantines, flores)



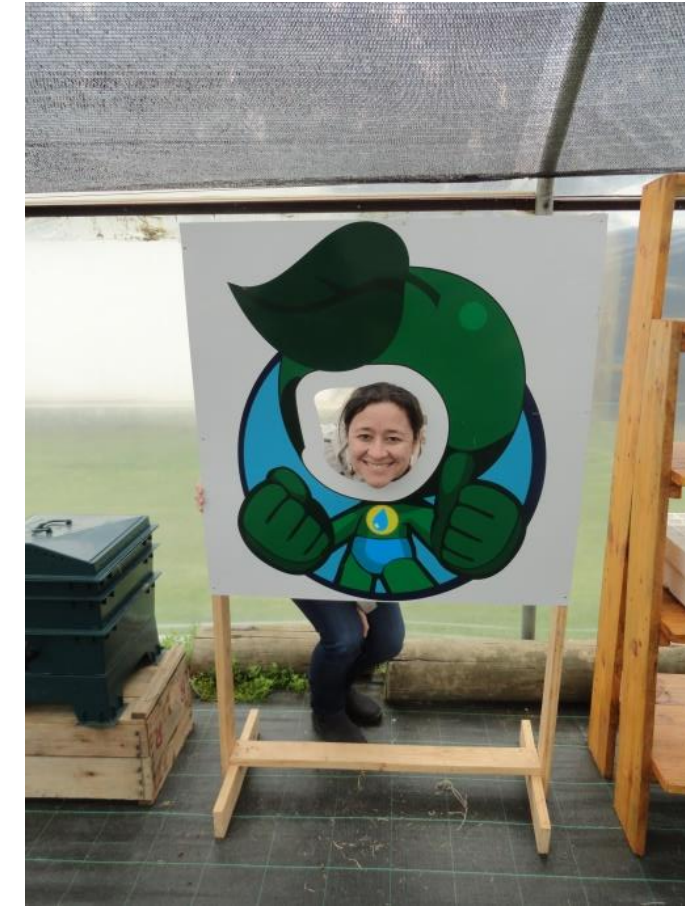
Mayo, Chengdú (China) VerticalFarm, 2023

Capacitación



VERDEAGUA (Uruguay): Relación con la comunidad

Empresa productora y procesadora de ensaladas de hoja



Supermercado: Producción local



Davis, EE.UU.

Supermercado: Producción local



Unimarc, Puerto Natales, Chile

Pérdidas de alimentos vs hambre en el mundo



www.americaeconomia.com

Pérdidas y desechos



Agradecimientos

- **Organizadores Reunión Red Clara**
- **Fondecyt ANID (Chile)**
- **REDES ANID (Chile)**
- **FIC Región de O'Higgins (Chile)**
- **Equipo CEPOC**



¡GRACIAS!

Victor Hugo Escalona

CEPOC – Universidad de Chile

vescalona@uchile.cl



EU-LAC Foundation
Fundación EU-LAC