



Avances en los sistemas de agricultura vertical en Chile

Víctor H. Escalona

vescalona@uchile.cl

www.cepoc.cl

22/23 AGOSTO
MERCADO MAYORISTA LO VALLEDOR



1



ÍNDICE:

I. PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

I. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LUMÍNICOS

EFFECTOS DEL ESPECTRO PAR

II. MICROGREENS

III. OTRAS PROYECCIONES

2

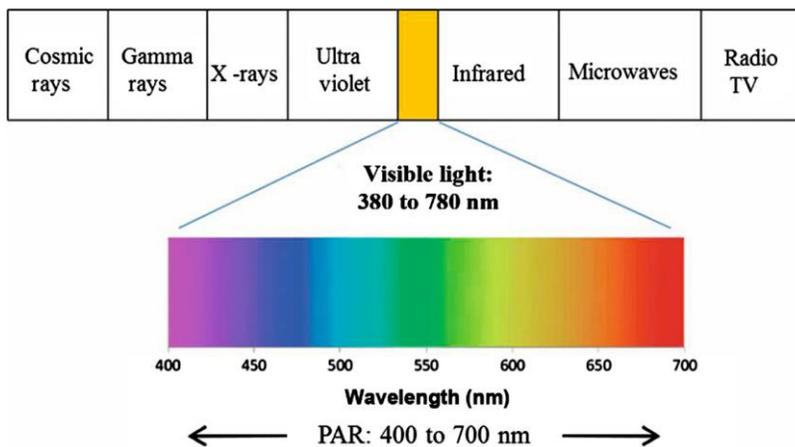
Aplicación de tratamientos lumínicos en hidroponía



3



Espectro electromagnético

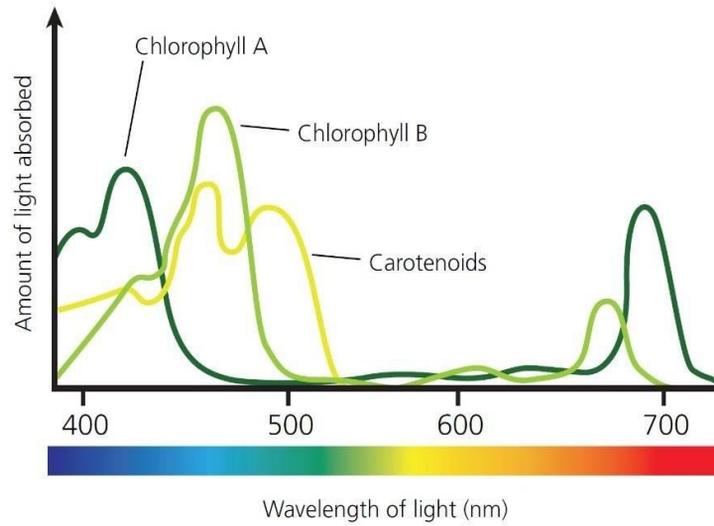


Plant Factory. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00009-1>

4

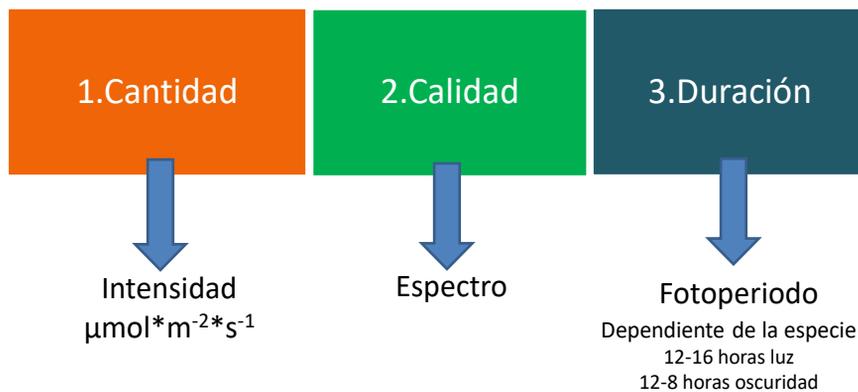
Espectro RFA

Pigmentos



5

Componentes de la luz



6

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

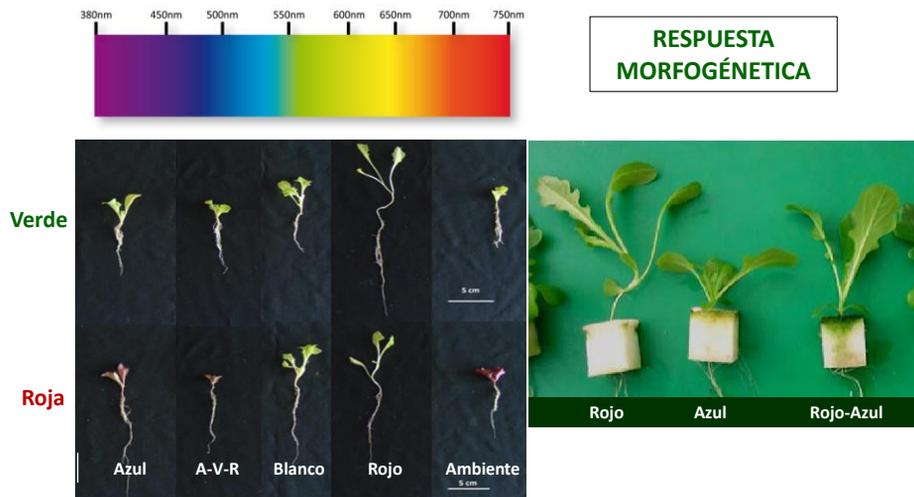
7

Propiedades e importancia de la longitud de onda de la luz

Classification	Wavelength (nm)	Importance
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

Plant Factory. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00009-1>

8



Chen et al., 2014; Hernández-Adasme et al., 2022

9

ÍNDICE:

I. PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

I. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LUMÍNICOS EFECTOS DEL ESPECTRO PAR

II. MICROGREENS

III. OTRAS PROYECCIONES

10

PAR: Suplementación LED en plantas de lechuga baby verde



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

11

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

Treatmento ¹ A:V:R:RL	Relación R:A	PAR ² $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Ác. clorogénico	Ác. chicórico	Quercetina total
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	 1.3:1	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	 1.2:1	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.

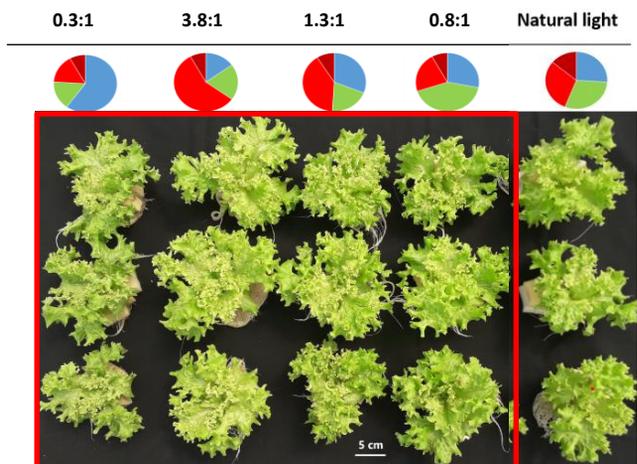
²Photosynthetically active radiation.

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

ns: not significant

12

Apariencia visual de lechugas baby



13

Indoor.

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

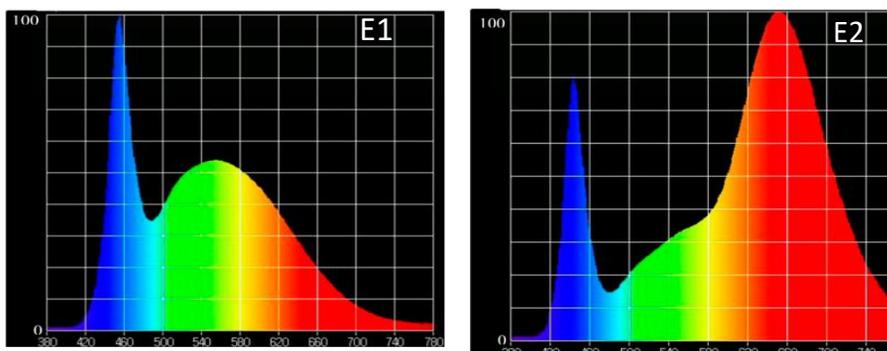


LED light setting.
E1: White light; E2: AP67L.

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

Flores et al., 2021

14



Flujo de fotones espectrales de tratamientos de iluminación de 380 a 780 nm. Lámpara de diodo emisor de luz (LED) blanca estándar (S1: Espectro 1) y L18 AP67 (S2: Espectro 2).

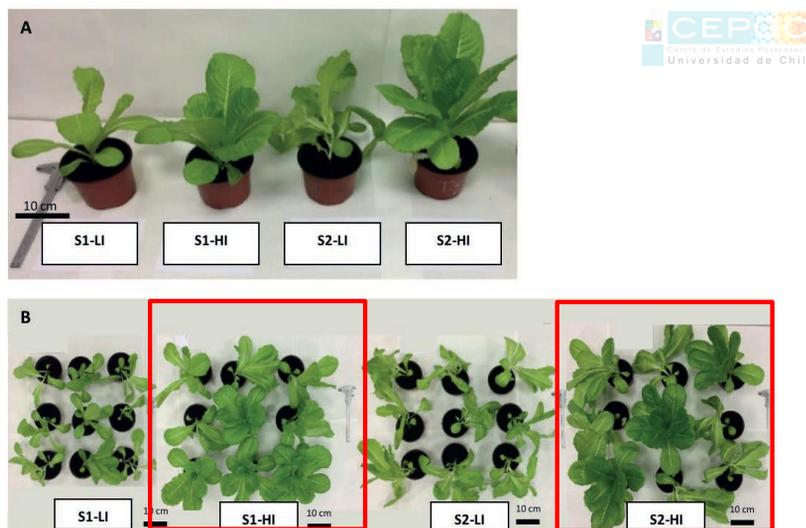
15

Condiciones de luz utilizadas para cultivar plantas de lechuga en condiciones de indoor

Espectro	Intensidad	Tratamientos	PPFD	Iluminancia
			$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	lux
S1	LI	S1LI	78.04 ± 7.44	3528.8 ± 297.9
	HI	S1HI	102.56 ± 8.90	4610.8 ± 351.5
S2	LI	S2LI	62.89 ± 5.20	2210.9 ± 183.5
	HI	S2HI	100.06 ± 6.98	2931.9 ± 249.0

Se utilizaron como tratamientos la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) y la iluminancia (lux) para dos espectros de luz en combinación con dos niveles de intensidades.

16



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

17



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

18

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

	Nivel	Fenoles	Flavonoides	DPPH	FRAP
		mg GAE·100g ⁻¹ FW	mg RutEq·100g ⁻¹ FW	mg Trolox·100g ⁻¹ FW	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

19

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 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- ✓ Los niveles de S2 y HI podrían considerarse óptimos.

20

ÍNDICE:

- I. PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS
 - I. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LUMÍNICOS
 - EFFECTOS DEL ESPECTRO PAR

II. MICROGREENS

III. OTRAS PROYECCIONES

21

Microgreens. Especies



Flores, Guevara y Pardo, 2021

22

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

Xiao, et al 2012. J. Agric. Food Chem.2012.60,7644-7651

23

Cultivo



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



Invernadero COPEUMO



Cámara crecimiento indoor con iluminación LED CEPOC UChile

24

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)

25

Cultivo de microgreens en invernadero vs condiciones interiores

Especies	Método de cultivo	Peso fresco(g)	Peso seco (%)	Área foliar (cm ²)
Kale verde	Invernadero	33.6 a	10.8 b	698.3 ns
	Indoor	32.3 b	18.7 a	650.6
Kale rojo	Invernadero	52.29 a	9.0 b	782.0 ns
	Indoor	24.0 b	11.9 a	891.3
Repollo verde	Invernadero	50.1 b	7.3 a	961.3 a
	Indoor	61.8 a	4.9 b	760.6 b
Repollo rojo	Invernadero	119.6 ns	14.3 ns	930.8 ns
	Indoor	114.6	11.9	1044.3
Mostaza verde	Invernadero	62.0 a	6.8 ns	995.5 ns
	Indoor	42.2 b	7.0	1030.1
Mostaza roja	Invernadero	45.5 a	5.3 b	462.8 a
	Indoor	32.8 b	10.6 a	293.8 b

26

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

 horticulturae



Article

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

Cristián Hernández-Adame¹, Rayen Palma-Díaz and Víctor Hugo Escalona^{*}



27

Detalles de los tratamientos aplicados a los microgreens de betarraga bajo sistema indoor.

Light Treatment	Intensity	Photoperiod	DLI
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	h	$\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$
¹ L12	120	12	5.2
L16	120	16	6.9
M12	160	12	6.9
M16	160	16	9.2
H12	220	12	9.5
H16	220	16	12.7

¹ L: low; M: medium; and H: high intensity.

28

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

29

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

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

30

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

Factor	EUE g FW kW ⁻¹ m ⁻²	WUE 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

31

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.

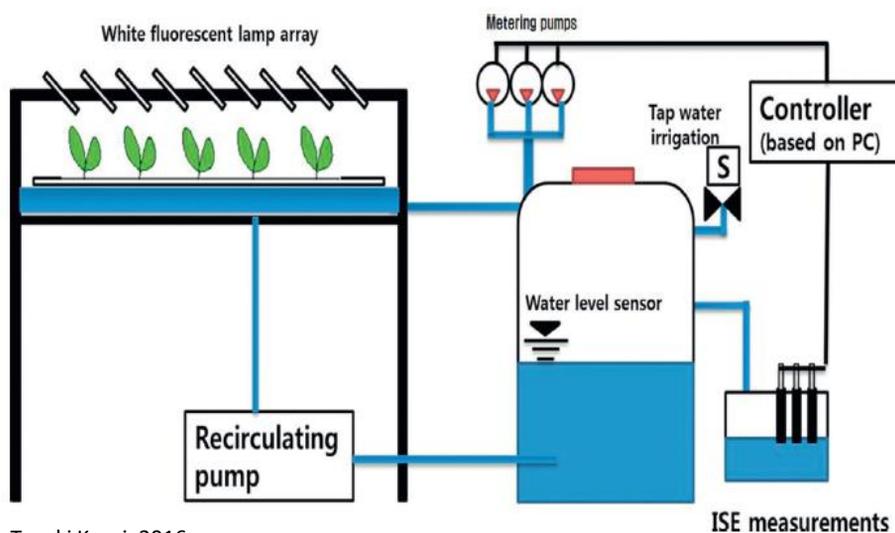
32

ÍNDICE:

- I. PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS
 - I. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LUMÍNICOS
EFECTOS DEL ESPECTRO PAR
 - I. MICROGREENS
 - II. **OTRAS PROYECCIONES (Chile-China)**

33

Diagrama de un sistema hidropónico cerrado con control de nutrientes



Toyoki Kozai, 2016

34

Chile- FARMTASTICA



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

35



INICIO PRESENTACIÓN VENTAJAS FUNCIONAMIENTO EQUIPO CONTACTO



AWAY es una solución compacta y eficiente que mejora el uso de recurso aumentando la productividad más cerca del punto de consumo.

AWAY

Para poder desarrollar soluciones eficientes, se hace necesario abordar los problemas desde distintas perspectivas. Son las diferentes disciplinas que participan en esta iniciativa las que hacen de Away un proyecto que más allá de la innovación, representa una solución real y confiable para una de las mayores problemáticas actuales: la sequía.

<https://away.cl/>



AGROURBANA

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

36



CEPOC UCH + Lab Robótica UdeC
Sistemas de producción vertical en contenedores
(microgreens y hojas)



37



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



Mayo, Chengdú (China) VerticalFarm, 2023

38

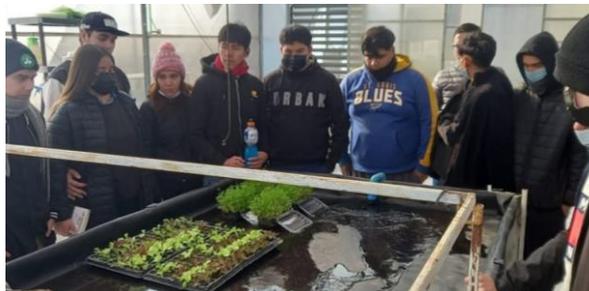
Sistemas de producción en granjas verticales para hortalizas de hoja



Mayo, Chengdú (China) VerticalFarm, 2023,

39

Capacitación



40



Visitar stand FCA-UCH, Expo Chile Agrícola

Programas de Magister en la FCA - UCH

Magister en Ciencias Agropecuarias

Presentación | Plan de estudios | Requisitos de admisión | Postulaciones

INFORMACIONES

- Sra. Jeannette Pizá S.,
Escuela de Postgrado
- Santa Rosa 11.315. La
Pintana. Casilla 1004 -
Santiago, Chile
- +562 29780327
- jeannettep@u.uchile.cl

<http://agronomia.uchile.cl/postgrados/108858/ciencias-agropecuarias>

41



Fac. de Ciencias Agronómicas U de Chile
Av. Santa Rosa 11315, La Pintana

Envíanos un email
centrofruticulturasur@gmail.com

DESDE 2017
INVESTIGACIÓN + INNOVACIÓN

Este Programa de Magister tiene una duración de 10 años, y busca, a través de distintas instituciones, enfrentar los desafíos tecnológicos de la fruticultura Chilena de la zona Sur.

ESPECIES | **AREAS**

GENÉTICA
Investigar nuevas variedades de árboles y variedades, que permitan una mejor adaptabilidad de los cultivos.

OBJETIVO GENERAL
Incrementar la I+D+i frutícola en Chile, mediante la ejecución articulada de portafolios de proyectos con visión de largo plazo, que permitan acortar los tiempos en los análisis específicos del desarrollo frutícola para mejorar la productividad del sector y contribuir a diversificar y fortalecer el tejido productivo.

SOSTENIBILIDAD
Alimentarse de los cultivos e obtener otros subproductos, que permitan de manera más eficiente y productiva.

POSTCOSECHA
Evaluar cómo se ve afectado el potencial de la fruta frente a diferentes especies.

[LEER MÁS](#) | [LEER MÁS](#)

<https://centrofruticulturasur.cl/web/>

42



Agradecimientos

- Fondecyt ANID (Chile)
- REDES Anid (Chile)
- FIC Región de O'Higgins (Chile)
- **Equipo CEPOC**



43



Avances en los sistemas de agricultura vertical en Chile

Víctor H. Escalona

vescalona@uchile.cl

www.cepoc.cl

22/23 AGOSTO
MERCADO MAYORISTA LO VALLEDOR



44