
Iluminación LED para horticultura

Conceptos básicos y aplicaciones

OLFER
The Power Supply Company

MeX
MechaTronix



CoolFin® LED Grow Lights



Autor: Departamento Técnico de MECHATRONIX

Traducción: Departamento de Marketing de [Electrónica OLFER](#)

El constante desarrollo tecnológico del sector agrícola es un hecho constatable desde cualquier punto de vista. Las mejoras en la productividad, salud, crecimiento y propiedades de nuestras plantas y productos se han venido produciendo de la mano de fertilizantes, adiciones de CO₂, mejoras genéticas de la planta, etc pero no debemos olvidar que el factor fundamental para la salud y crecimiento de nuestras plantas es LA LUZ...y en este campo, hasta hace relativamente pocos años, no hemos innovado creyendo equivocadamente que no podemos mejorar lo que nos proporciona la luz solar.

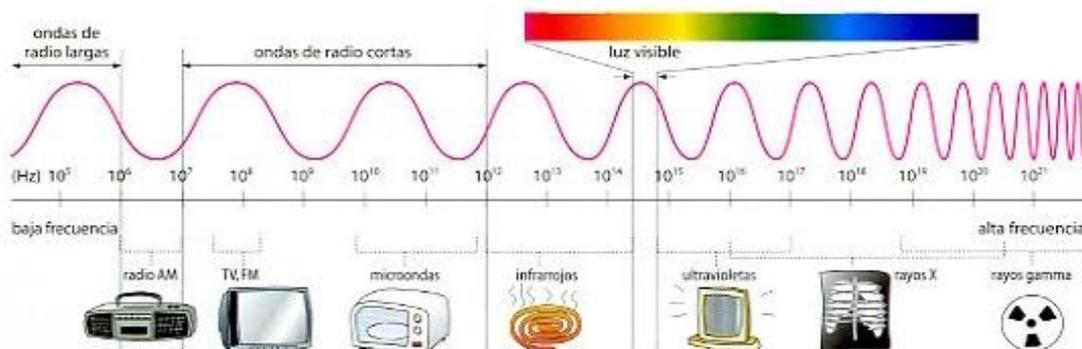
Son ya muchas hectáreas en el mundo las que están produciendo con luz artificial o con complemento de luz artificial con resultados muy por encima de lo que conseguimos con luz natural. Como dato, la media de producción en kilos, por metro cuadrado de un invernadero de tomates en Holanda es de 84kg frente a la media Almeriense que se acerca a los 26kg. La diferencia más significativa en ambas producciones es la iluminación, complementada con LED en el primer caso, frente a la iluminación natural en el segundo. La iluminación LED es sin duda una de las vías de avance para el futuro del sector ya que el actual desarrollo de esta tecnología, permite abordar proyectos con una clara recuperación de la inversión en equipos y electricidad consumida en plazos de 2 a 4 años, por los incrementos en producción. Teniendo en cuenta que la vida media de estas luminarias supera los 10 años, estamos frente a la nueva revolución del sector primario.

Las pruebas realizadas en cámaras de injertos, control y lucha frente a plagas, mejoras del enraizamiento en semillero, etc, son tan positivas que abren una ventana en nuestro sector que diferenciará en pocos años a los que se suban al carro de la innovación frente a los que continuen produciendo de manera tradicional.

Para poder comprender el potencial de esta revolución agrícola debemos manejar algunos conceptos.

CONCEPTOS BÁSICOS:

Comenzaremos definiendo la luz: es una radiación que se propaga en forma de ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. La energía transportada por las ondas es proporcional a su frecuencia, de modo que cuanto mayor es la frecuencia de la onda, mayor es su energía. Esa diferencia de frecuencia es lo que comunmente llamamos, dentro del espectro visible, colores de la luz, que van desde el ultravioleta, pasando por el azul, verde, amarillo, naranja y rojo, hasta el infra rojo. Por tanto, la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano es lo que comunmente llamamos, la luz.



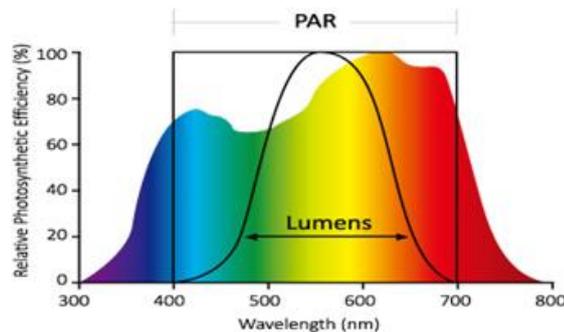
A modo de resumen diríamos que es una forma de energía que ilumina las cosas, las hace visibles y se propaga mediante partículas llamadas fotones.

Como en todos los campos, hay palabras, conceptos y datos específicos. Es imprescindible conocerlos y entenderlos para una perfecta comprensión de la nueva tecnología. En este artículo intentaremos glosarlos:

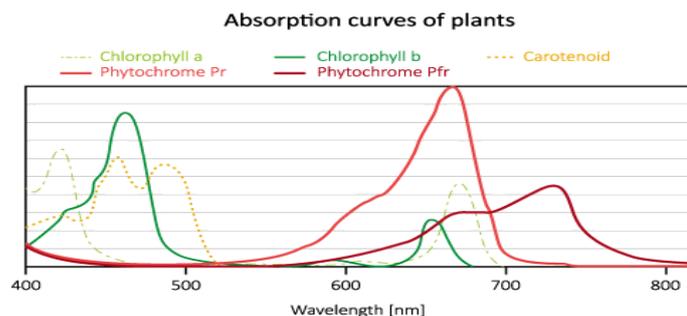
- ❖ **LUX - LÚMEN** = Se usa en la fotometría como medida de la iluminancia. Debe ser luz visible por el ojo humano, es decir dentro del espectro visible por el ojo humano. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado. Algunos ejemplos:

Iluminancia	Ejemplo
0,25 lux	Luna llena en una noche despejada ¹
100 lux	Pasillo en una zona de paso
300 lux	Sala de reuniones
500 lux	Oficina bien iluminada
1000 lux	Iluminación habitual en un estudio de televisión

- ❖ **RFA / PAR** = zona activa para las fotosíntesis de las plantas (Radiación Fotosintética Activa ó Photosynthetic Active Radiation).



- ❖ **Longitud de onda (nanómetros, nm)** = Varía en función del color de la luz emitida. El ojo humano ve desde los 400 a los 700 nm. El ultravioleta está por debajo y el infrarrojo por encima. Las plantas son sensibles aprox. Entre los 400 y los 800 nm de longitud de onda. Dependiendo de la misma, la planta tendrá unos efectos u otros.
- ❖ **PPF (Photosynthetic Photon Flux)** = Número de fotones que llegan a la planta por segundo. Incluye todos sin importar su longitud de onda. Se mide en nano moles por segundo. $\mu\text{mol/s}$
- ❖ **YPF (Yield Photon Flux)** = Número de fotones dentro de la longitud de onda beneficiosa para la planta que llegan a la misma por segundo. Se mide en $\mu\text{mol/s}$ y en el siguiente gráfico se puede ver los efectos en la planta dependiendo de la longitud de onda.



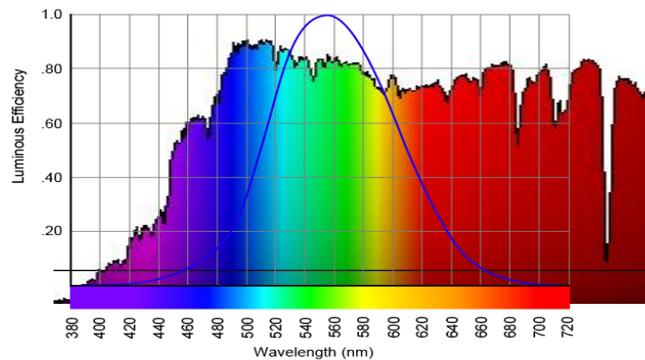
- ❖ **PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density)** = Número de fotones que llegan a la planta por segundo y por metro cuadrado dentro del PAR. Se mide en nanomoles por segundo y por metro cuadrado. $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$
Como dato comparativo $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s} = 54 \text{ lux}$
- ❖ **DLI (Daily Light Integral)** = Cantidad de luz que le llega a la planta por metro cuadrado en un día completo $\mu\text{mol}/\text{d m}^2$

LUZ SOLAR Y SU EFECTIVIDAD EN LAS PLANTAS

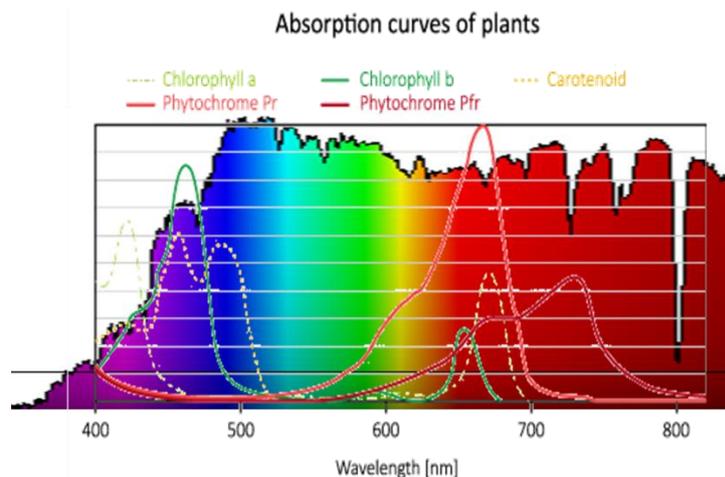
Es un hecho científicamente probado que las plantas absorben energía de la luz, pero solo lo hacen en ciertas longitudes de onda, por lo que el resto de la luz que le proporcionemos la estamos “tirando”...no sirve de nada, es un consumo de energía no aprovechado.

En este apartado compararemos el espectro de la luz solar con el PAR y con las curvas de absorción de las plantas.

Luz solar, frente al PAR: Como se puede observar, el sol emite mucha luz fuera del PAR, por lo que el ojo humano no es capaz de verla y las plantas no son capaces de absorberla...sobre todo en la parte infrarroja.



Luz solar, frente a las curvas de absorción de las plantas: Al igual que antes cuando comparábamos frente al PAR, podemos ver toda aquella emisión de luz del sol que está fuera de las curvas de absorción de la planta

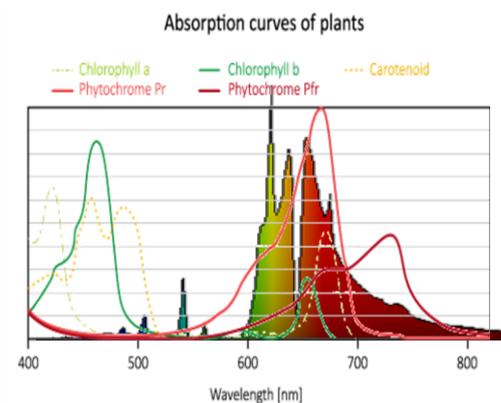


COLORES BÁSICOS EN HORTICULTURA. CAPACIDAD DEL LED

Cada longitud de onda o color de la luz tiene un efecto en la planta. Conocer bien esto nos ayudará a elegir la luz correcta dependiendo del efecto que busquemos en la planta.

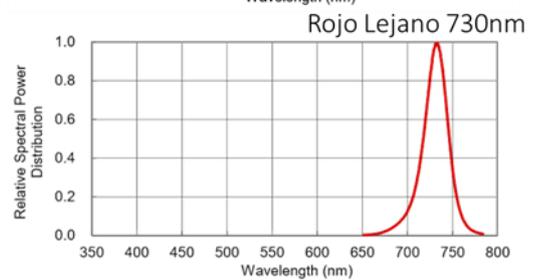
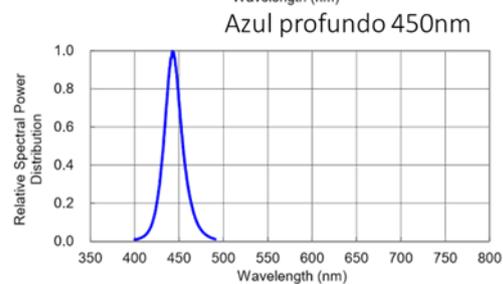
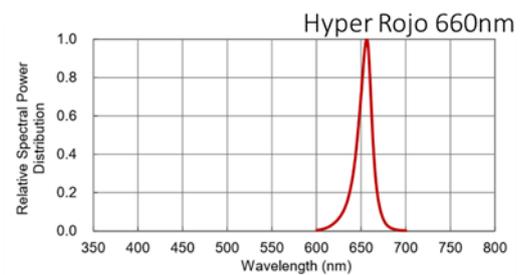
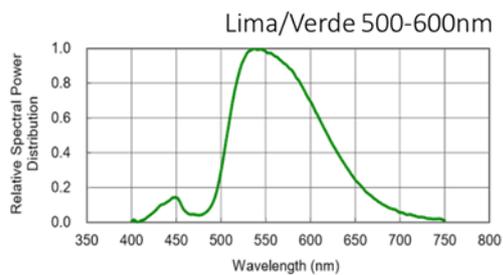
La gran ventaja del uso del LED es que nos permitirá elegir exactamente el color o combinación de colores que queramos para conseguir el efecto deseado en la planta.

A continuación, expondremos el espectro de luz proporcionado por una lámpara de sodio, comparado con las curvas de absorción de las plantas.

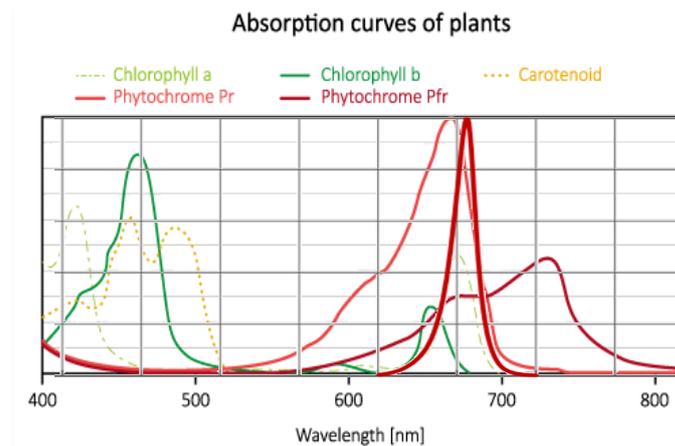


Como podemos observar las lámparas de sodio no son eficientes, ya que emiten una luz blanca para el ojo humano que está compuesta por las longitudes de onda expresadas en el gráfico, pero que dejan muchas partes de la luz necesaria para las plantas sin cubrir.

Los colores básicos son:



Rojo, aprox 660 nm : “ El acelerador”

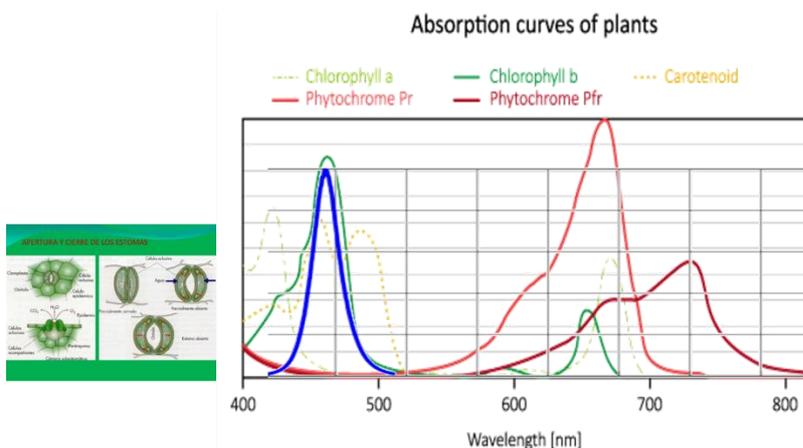


Fase vegetativa desde que nace (germinan las semillas) hasta que da la flor (inflorescencia)

A mayor frecuencia de la luz (fotón) más energía y a mayor longitud de onda, menor es su energía. Directamente proporcional.

Los rayos cósmicos tienen menor longitud de onda 10^{-15} y mayor frecuencia 10^{23} y por tanto más energía y la luz infrarroja mayor longitud de onda 1K y 1 millón de kilómetros y menor frecuencia 10^2 y por tanto menos energía.

Azul, aprox 450 nm. “El Freno”.



Azul 450 nm

Fotosíntesis
Vegetativa

Abre los estomas

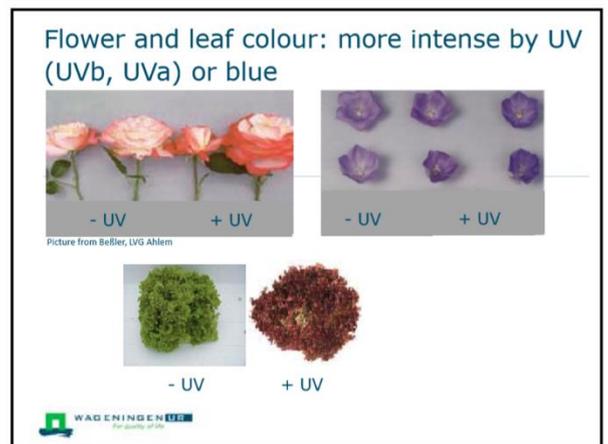
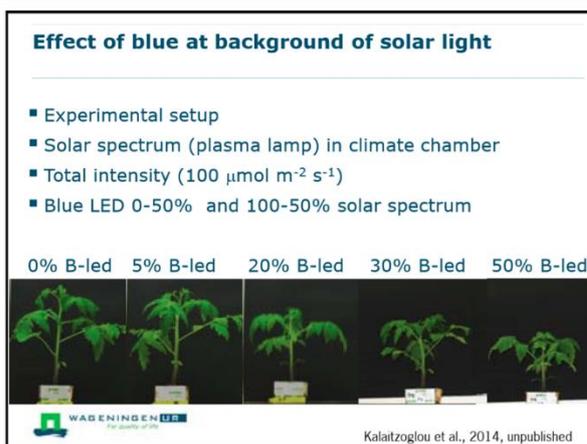
Formación de
antocianinas

“El Freno”

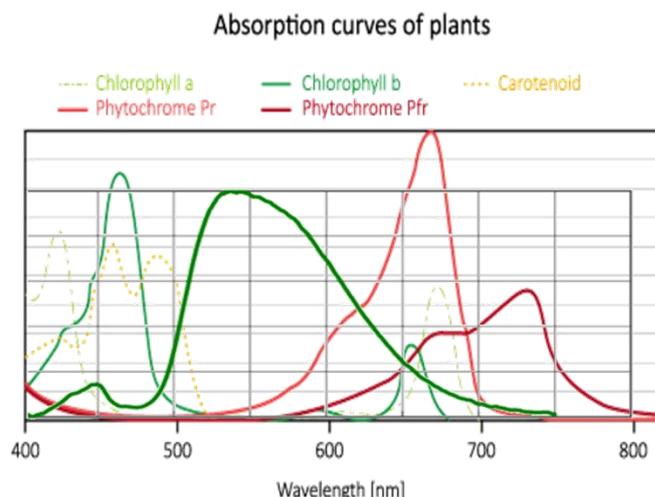
En las **plantas**, el intercambio gaseoso ocurre a través de los **estomas** que son pequeños poros que se encuentran ubicados en el envés de las hojas en la mayoría de las **plantas**. Cada **estoma** está formado por dos células especiales llamadas células oclusivas, que tienen la función de regular el paso de sustancias. Los estomas no solo regulan el intercambio de gases como oxígeno y dióxido de carbono sino también el flujo de agua. El intercambio de dióxido de carbono entre la planta y el medio está controlado por la apertura y el cierre de los estomas. Cuando se abren los estomas, aumenta la cantidad de dióxido de carbono que entra a la planta, pero también es mayor la cantidad de agua que se pierde por transpiración. Por el contrario, cuando los estomas se cierran, se evita la pérdida de agua, y se restringe la entrada de dióxido de carbono que es fundamental para realizar la fotosíntesis. Es por esto que las plantas deben regular cuidadosamente la apertura y el cierre de los estomas para no perder agua innecesariamente.

Las **antocianinas** (del griego *άνθος* (*anthos*): 'flor' + *κυανός* (*kyáneos*): 'azul') son **pigmentos** hidrosolubles que se hallan en las **vacuolas** de las **células** vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las **hojas**, **flores** y **frutos**.¹ Desde el punto de vista químico, las antocianinas pertenecen al grupo de los **flavonoides** y son **glucósidos** de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la **aglicona**, a la que se le une un azúcar por medio de un **enlace glucosídico**. Sus funciones en las plantas son múltiples, desde la de protección de la radiación **ultravioleta**, la de atracción de insectos polinizadores,² hasta impedir la congelación de las frutas, como las uvas. El término antocianina fue propuesto en **1927** por el farmacéutico alemán **Adolf T. Lewandoski** (1804-1881) para describir el pigmento azul de la **col lombarda** (*Brassica oleracea*). En realidad, las antocianinas no sólo incluyen a los pigmentos azules de las plantas sino también a los rojos y violetas.

El interés por los pigmentos antociánicos se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas. Por lo tanto, además de su papel funcionan como colorantes alimenticios, las antocianinas son agentes potenciales en la obtención de productos con valor agregado para el consumo humano.



Verde, aprox 500-600nm. Apariencia de luz blanca.



Verde 500-600nm

Poco efecto en la fotosíntesis

Vegetativa, endurece la planta

Importante para una correcta inspección de la planta (color púrpura del rojo y el azul)

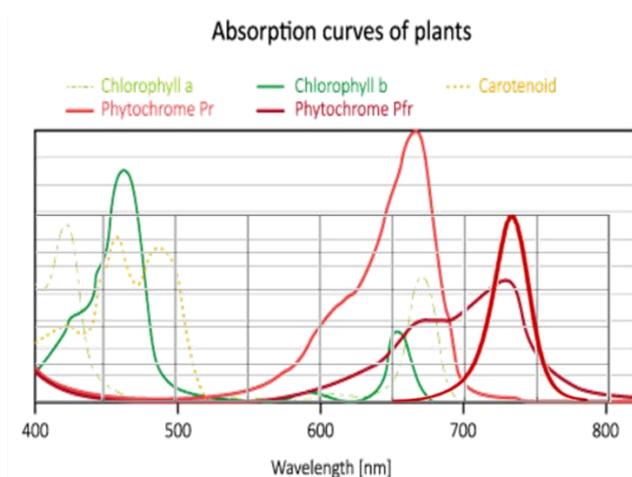
La luz verde también tiene menos absorción en las plantas, pero tiene la propiedad de traspasa más, es decir, le llega a las hojas inferiores

Pueder servir para endurecer las hojas y el tronco, si por ejemplo queremos una planta más dura. No se suele usar en las que ya tienen un tronco leñoso.

Puede ser interesante aplicar tratamiento de luz verde antes del transporte de las plantas.

Se suele usar para neutralizar el color púrpura de algunas soluciones de iluminación LED ya que facilita la inspección visual y el trabajo en general de los operarios.

Rojo Lejano o Infra rojo, a partir de los 730nm. “El estirón”.



Rojo lejano 730 nm

Fuente del rango PAR /RFA

Sin efecto en la fotosíntesis

“El estirón”

Como decíamos al principio de este artículo, la longitud de onda de esta luz es la mayor y por lo tanto la que mejor atraviesa las hojas superiores e ilumina la parte inferior de la planta. Es la luz que recibe la planta cuando está en sombra, pues es la única que puede llegar cuando lo está. Con alta concentración de esta luz “engañamos” a la planta haciéndola creer que está por debajo de otras y tiende a crecer en vertical para llegar a recibir la luz directa del sol.

Una vez conocidos los conceptos básicos y los efectos de los colores de la luz en las plantas, pasemos a un ejemplo práctico.

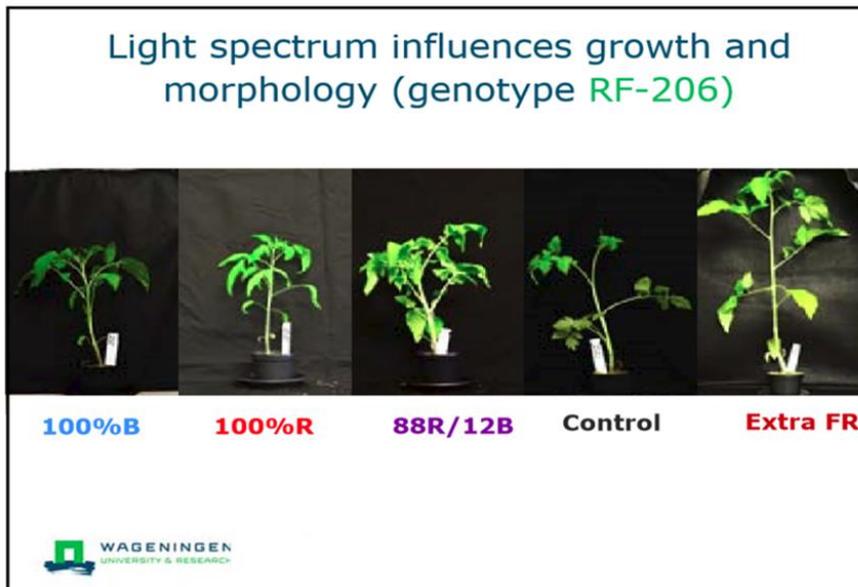
A continuación mostraremos los resultados en una planta de tomate con diferentes tipos de luz.

1º 100% B, sería un crecimiento solo con luz azul.

2º 100% R, sería un crecimiento con 100% rojo.

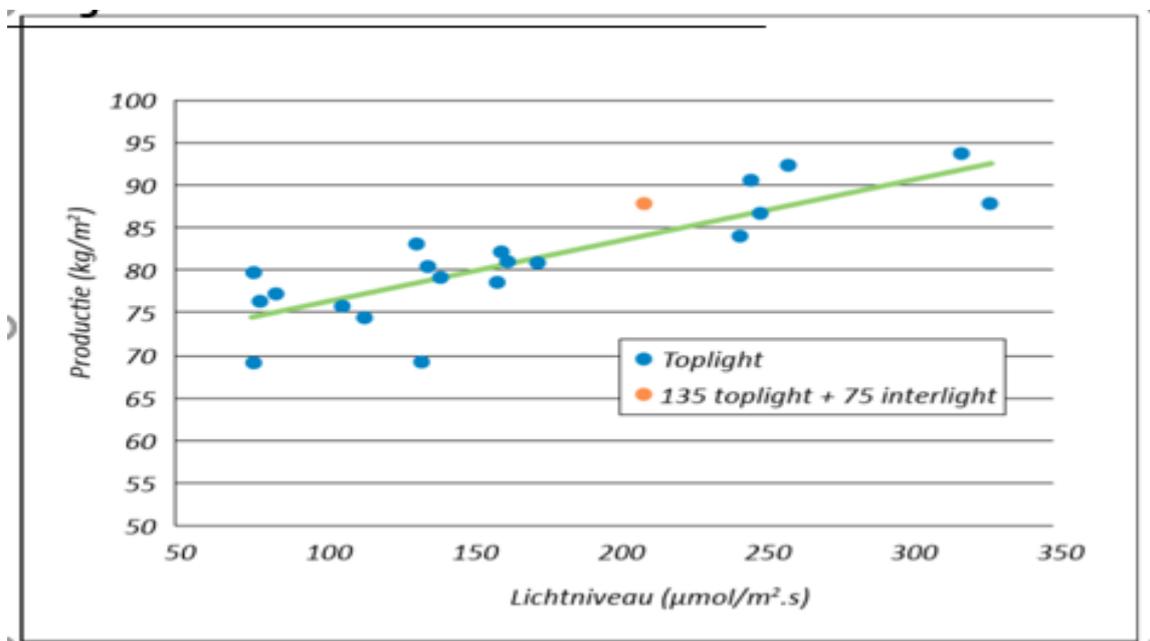
3º 88R/12B, sería un crecimiento con 88% rojo y 12% azul.

4º Extra FR, sería un crecimiento con un aporte extra de infra rojo o far red en inglés.



Podemos ver las diferencias que produce una luz diferente en el crecimiento y morfología de la planta. Parece evidente que una combinación de rojo y azul es, en este ejemplo, la mejor combinación.

Que el aporte extra de luz, nos permite mejorar la producción de nuestras cosechas es un hecho probado, pero tiene un límite, como en todos los campos: fertilizantes, CO₂, etc. A continuación les mostraremos un gráfico con la relación de aporte extra de iluminación (PPDF) y kilos de tomates conseguidos por metro cuadrado. Está demostrado también que superar un PPDF de 200 $\mu\text{mol/s m}^2$, tiene un coste en electricidad que, a día de hoy, deja de compensar los incrementos en producción.



Por todo ello y una vez realizados los estudios por tipo de planta, le presentamos un cuadro con los diferentes tipos de cultivo y sus PPDF recomendadas:

¿Cuáles son los valores típicos usados en horticultura con iluminación artificial?

Cultivo	Mínimo $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$	Máximo $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$	Típico $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$
Tomate	170	200	185
Pimiento	70	130	100
Pepino	100	200	150

Planta en maceta	Mínimo $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$	Máximo $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$	Típico $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$
Orquídea	80	130	105
Dendrobium	130	260	195
Bromelia	40	60	50
Anthurium	60	80	70
Kalanchoe	60	105	82,5
Crisantemo	40	60	50
Rosa en maceta	40	60	50
Geranio	40	60	50

Flores cortadas	Mínimo $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$	Máximo $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$	Típico $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$
Crisantemo	105	130	117,5
Rosa	170	200	185
Lirio	80	100	90
Lisanthus	170	200	185
Alstroemeria o Lirio de campo	60	105	82,5
Orquídea	80	105	92,5
Freesia	70	105	87,5
Gerbera	80	105	92,5
Tulipán	25	40	32,5

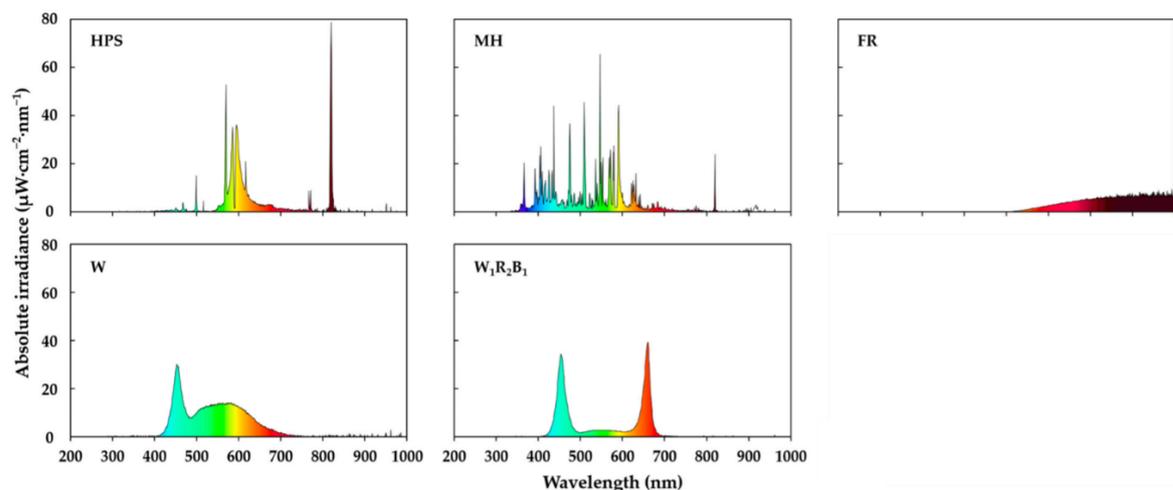
Por último les presentaremos los resultados de un estudio realizado en 2.019, comparando diferentes tipos de luz en:

INJERTOS DE TOMATES EN INVERNADERO

Compararemos estos diferentes tipos de luz:

- 1º Alta presión sodio HPS
- 2º MH. Aluro Metálico
- 3º Extra FAR RED o aporte extra de infrarojo con LED
- 4º Luz blanca con diodo LED Azul
- 5º W1R2B1, combinación LED de luz blanca, roja y azul

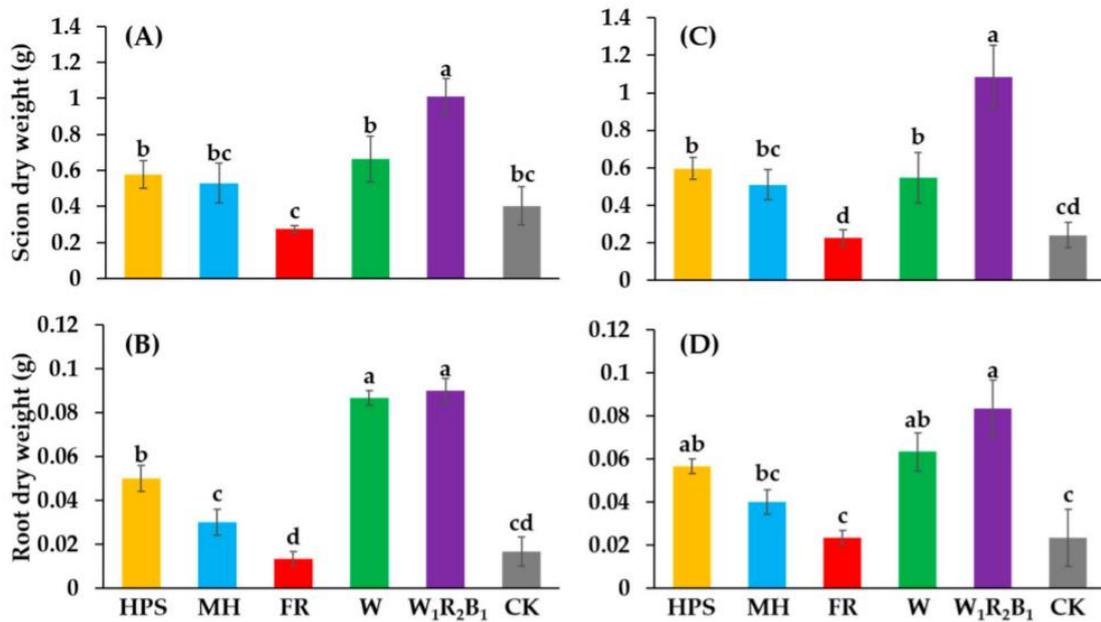
Los espectros de luz de todas ellas tendrían los siguientes gráficos:



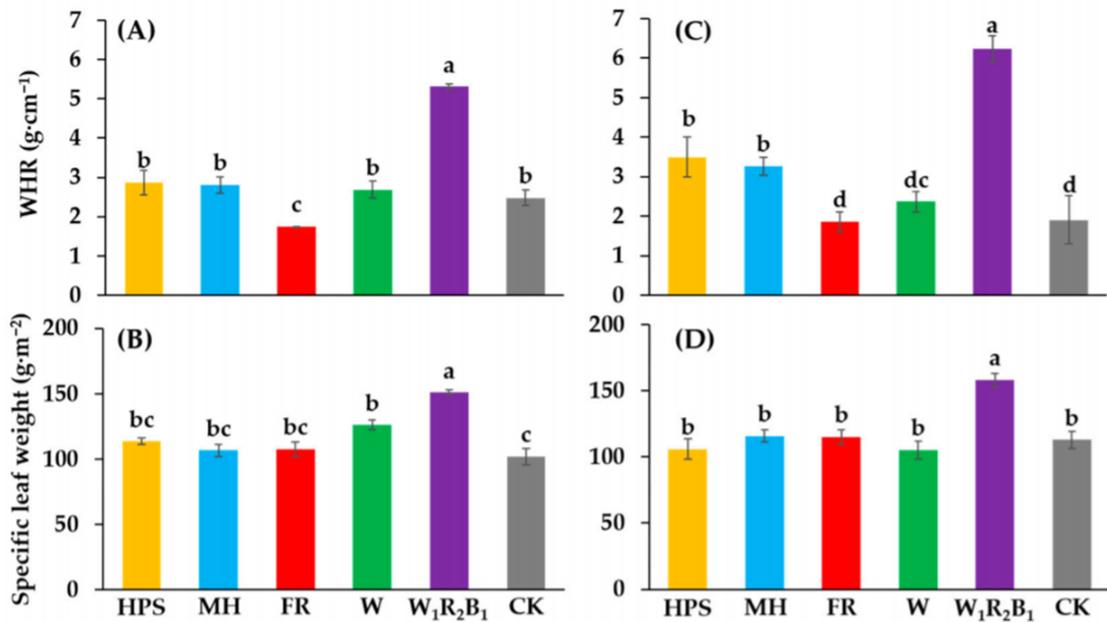
Los injertos se realizaron en las variedades Super Sunload (A y B) y Super Dotaerang (C y D), con los siguientes resultados:



El efecto de la iluminación en el peso del brote (A y C) y la raíz (B y D) fue el siguiente:



El efecto de la iluminación en el WHR o relación de peso seco a altura del vástago (A y C) y en el peso específico de la hoja (B y D) fue el siguiente:



❖ **Conclusiones preliminares del estudio:**

1. Una correcta iluminación suplementaria mejora ostensiblemente la producción, la masa vegetal y el enraizamiento, mientras que paralelamente reduce los rechazos en el injerto.
2. El mayor efecto con iluminación suplementaria se consigue con tecnología LED en una combinación de Rojo/Azul/Blanco en una relación aproximada de 60/25/15
3. Los resultados dependen mucho de la climatología y la región. En este experimento la relación de iluminación suplementaria y luz natural tenía una relación del 25/75. Por lo que el efecto de la iluminación suplementaria es relativamente bajo a pesar de los resultados evidentes obtenidos.
4. La luz suplementaria puede mejorar los resultados
 - > Rojo = crecimiento y estiramiento – mayor longitud entre nodos
 - > Azul = crecimiento y planta más compacta – menor distancia internodal

Otra conclusión a la que hemos sido capaces de llegar es que debemos tener cuidado con demasiada proporción de azul, ya que conseguimos unos estomas abiertos y una cicatrización más lenta, por lo que aumentamos las posibilidades de un posible rechazo.

MECHATRONIX, por medio de su distribuidora oficial en España, Electrónica OLFER, ofrece soluciones completas tanto para carros de cámara como para iluminación suplementaria en invernadero. Sus técnicos cualificados estarán a su entera disposición para relizar pruebas y encontrar la mejor solución para sus necesidades. www.oller.com