PROHIBIDA SU PUBLICACIÓN

TEMA 47

EL OJO HUMANO Y LAS PLANTAS

47.1. EL OJO HUMANO.

El ojo humano es el órgano de la visión mediante el cual se captan las radiaciones luminosas. Dichas radiaciones se transforman en energía en el interior del ojo, y ésta es conducida al cerebro donde se forma la imagen captada por el ojo.

El fondo del ojo está recubierto interiormente por un tejido que se denomina *retina*. La retina está dotada de elementos fotoreceptores, que debido a su forma reciben el nombre de *conos* y *bastones,* Fig.47.1.

Los conos son sensibles a los colores y poco sensibles a la luz, por tanto son los encargados de transmitir la sensación de color al cerebro. Los bastones, por el contrario, son sensibles a la luz y casi insensibles al color. Son pues los bastones, los encargados de transmitir la mayor o menor iluminación de los objetos.

Se denomina visión *fotópica* a la visión que se realiza a la luz del día, o con suficiente luz artificial, en esta visión participan los conos y bastones.

Se denomina visión *escotópica* a la visión nocturna o con poca luz, en esta visión participan fundamentalmente los bastones. En este tipo de visión, al no participar los conos, no se distingue el color de los objetos.

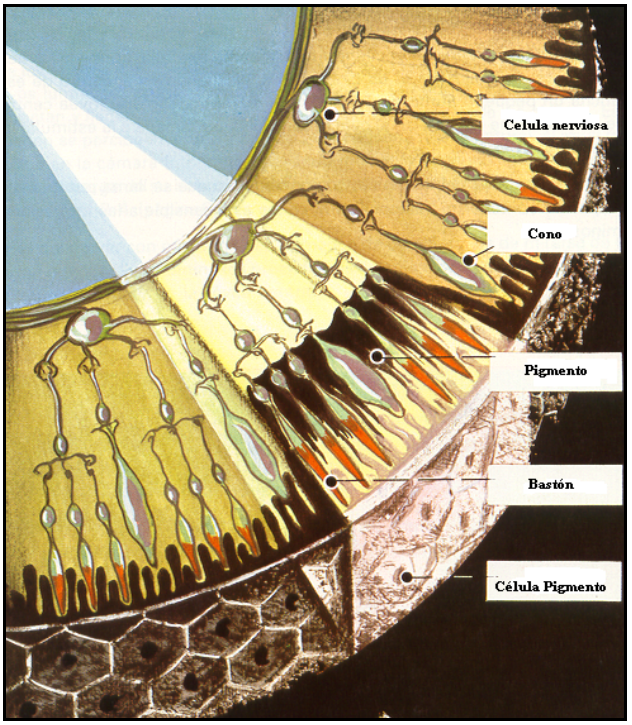


Fig.47.1

47.2. CURVAS DE SENSIBILIDAD DEL OJO HUMANO.

Una parte de la radiación electromagnética sensibiliza la retina del ojo humano y produce el efecto de *visión*. Este fenómeno sucede para radiaciones cuyas longitudes de onda están comprendidas entre los **380** y los **760 nm**, para el ojo humano medio. Para radiaciones fuera del anterior intervalo, el ojo se muestra *"ciego"*.

Si se representa mediante un gráfico, Fig.47.2, la sensibilidad relativa del ojo humano para las distintas longitudes de onda de la radiación luminosa del mediodía soleado, suponiendo todas las radiaciones luminosas con la misma energía, se obtiene una curva acampanada que se denomina "*curva de sensibilidad del ojo humano a las radiaciones monocromáticas de longitud de onda* λ ", o de forma abreviada *"curva v-*λ*"*

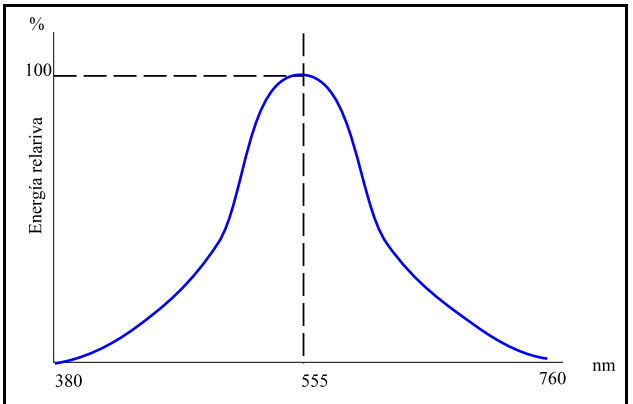


Fig.47.2

El ojo tiene la máxima sensibilidad para una longitud de onda de **555 nm**, que corresponde al color amarillo-verdoso y la mínima para los colores rojo y violeta.

47.3. LA FOTOSÍNTESIS. CURVA DE SENSIBILIDAD DE LAS PLANTAS VERDES.

La fotosíntesis[1] es el mecanismo por medio del cual se garantiza la vida en el planeta Tierra. En esencia consiste en la liberación de oxígeno procedente de la molécula de agua, y el almacenamiento del poder reductor que resulta en numerosos compuestos carbonados, los cuales constituyen la materia viva. En definitiva se trata de un proceso de oxidorreducción en el que un donador de electrones, el agua, se oxida, y un aceptor, el anhídrido carbónico, se reduce.

Partiendo de la ecuación de la fotosíntesis:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{cloroplastos}]{\text{8 einstein}} (HCOH) + O_2 \quad (\Delta G = 114 \text{ kcal.mol}^{-1}) \qquad (47.1)$$

en que por cada mol de $\mathbf{CO_2}$ reducido se requieren como mínimo **8 einstein** de fotones de radiación PAR[2] (radiación comprendida entre 400 y 700 nm), se pueden establecer las eficiencias energéticas de la fijación del $\mathbf{CO_2}$, a nivel teórico:

[1] Etimológicamente la fotosíntesis significa *síntesis con ayuda de la luz.*

[2] PAR son las siglas de *Photosynthetically Active Radiation*

Para la luz roja, 660 nm (43,4 kcal.ei^{-1}), resulta:

$$E = \frac{114}{43,4.8}.100 = 32.8\% \quad (47.2)$$

Para la luz azul, 450 nm (63,6 kcal.ei^{-1}), resulta:

$$E = \frac{114}{63,6.8}.100 = 22,4\% \quad (47.3)$$

Para la luz blanca, promedio entre 400 y 700 nm (49,74 kcal.ei^{-1}), resulta:

$$E = \frac{114}{49,74.8}.100 = 28,6\% \quad (47.4)$$

Estos rendimientos solamente pueden ser conseguidos a nivel de cloroplastos aislados o algas unicelulares y radiadas con bajas intensidades luminosas para facilitar su absorción.

Los anteriores rendimientos se pueden comparar con los que se pueden alcanzar, en teoría, en las células fotovoltaicas artificiales, pero en la práctica los que se alcanzan con éstas no sobrepasan el 10%.

A nivel de las hojas en un día soleado la eficiencia fotosintética puede estimarse entre un 15 y un 17% respecto a la radiación PAR que les llega. Si en lugar de una hoja se considera la planta completa durante todo el día de permanencia en el terreno, la eficiencia entonces sería de un 2 a un 5%, ya que en este caso se producen pérdidas considerables en los procesos de absorción, traslocación y respiración oscura, además de los propios del metabolismo general. Este dato se refiere a la cantidad de luz realmente recibida por la planta.

En el proceso fotosintético, la clorofila absorbe principalmente las radiaciones azules y rojas, dentro de la radiación luminosa, y en gran medida refleja la verde. Sin embargo, esto no significa que la luz verde no se use por las plantas. En hojas gruesas o donde hay un abundante y tupido follaje, la luz verde es absorbida casi en la misma proporción que la luz roja. Las hojas finas por el contrario tiene una curva de absorción más o menos similar a la curva de absorción de la clorofila.

Desde un punto de vista de utilización de la energía, la radiación roja es la mejor. Un *cuanto* de radiación correspondiente al azul contiene una cantidad de energía mayor que un *cuanto* de radiación correspondiente al rojo. Cuando un *cuanto* de radiación correspondiente al azul es absorbido por la clorofila, parte de su energía se pierde inmediatamente en forma de calor. La molécula de clorofila queda entonces en el mismo nivel de energía que el que resulta de absorber un cuanto de radiación roja.

Por tanto la radiación roja es más eficaz desde el punto de irradiación de plantas que la azul.

Sin embargo es preciso radiación azul para que las plantas se desarrollen con normalidad. Las plantas que se desarrollan solo bajo radiación roja producen hojas pequeñas y entrenudos mayores de lo normal (ahilamiento).

En la Fig.47.3 se representan las curvas de absorción en distintas hojas según su grosor.

Se han hecho experiencias para determinar la curva de sensibilidad de las plantas verdes, consideradas en su conjunto, habiéndose obtenido una curva media de sensibilidad para un conjunto de veintidós hortícolas[3], la curva se representa en la Fig.47.4, la cual representa un máximo en 675 nm (zona del rojo).

Desde el punto de vista de radiación con fines fotosintéticos, está sería la distribución espectral óptima para el desarrollo de las plantas verdes.

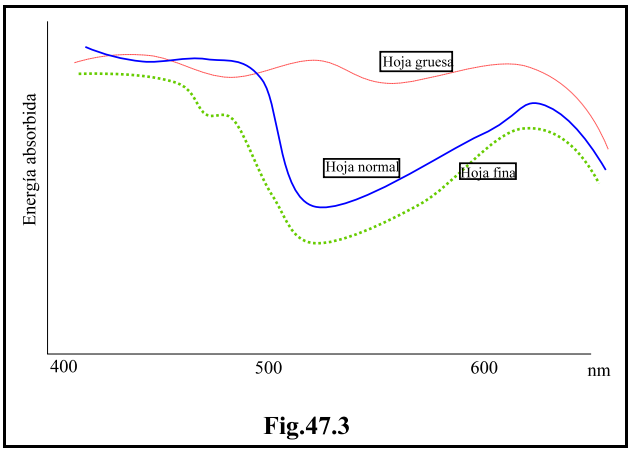


Fig.47.3

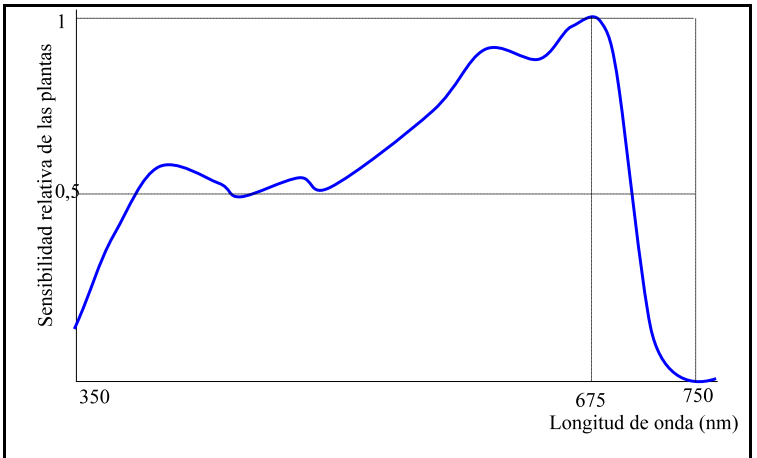


Fig.47.4

[3] Mc Cree, K.J. Agric. Meteor, 9 191-216, 1972

47.4. LA RADIACIÓN LUMINOSA Y EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.

Como ya se ha señalado mas arriba, la luz es energía, en consecuencia, cuando una planta absorbe la energía luminosa, esta energía se puede usar para:

1) Convertir en calor.
2) Irradiar en forma de fluorescencia.
3) Utilizar para sensibilizar una reacción siendo susceptible de convertirse en otra clase de luz, o acelerar las reacciones químicas que se realizan muy despacio en otro lugar.
4) Como fuente de energía primaria que actúa sobre una reacción inicial, de la que con posterioridad dependen otras muchas.

Quizás las dos normas más importantes para las fotorreacciones son la ley de Grottus-Draper[4], que establece que todos los *estados* que sólo absorben luz pueden ser usados para producir un cambio químico, y la *regla de los estados* en que todas las moléculas que forman parte de una reacción fotoquímica absorben un cuanto de radiación (regla de Stern[5]-Einstein de la equivalencia fotoquímica).

Desde que la luz ha adquirido un interés medio ambiental, al dirigir los sistemas fotofisiológicos, existe una preocupación en el número de cuantos absorbidos por unidad de área y unidad de tiempo dentro de las bandas de absorción de los distintos sistemas de pigmentos biológicos.

La luz, por definición, es la porción del espectro electromagnético perceptible por el ojo humano. Se acepta que ésta porción se corresponde con longitudes de onda comprendidas entre los **380** y los **760 nm**. El espectro electromagnético total excede de la zona luminosa en ambos sentidos, extendiéndose desde los rayos cósmicos, con una longitud de onda de cerca de $\mathbf{1.10^{-5}}$ **nm**, a las ondas eléctricas de transmisión de potencia de $\mathbf{1.10^{8}}$ **m**. Aunque una transmisión gradual coja zonas desde una porción del espectro a otra, las diferentes regiones están generalmente situadas como si claramente definieran *categorías*. Cada una de estas *categorías* pueden afectar directa o indirectamente a los organismos biológicos. Así los efectos germicidas en los **250 nm** y las reacciones ericémicas entre **290** y **300 nm**, son dos ejemplos al respecto. Sin embargo, estos efectos pertenecen a la zona ultravioleta y no es pertinente discutirlos como concernientes a la luz visible.

En orden a discutir la luz como un factor ambiental, debe primero determinarse como se debe medir. Desde que se usan fuentes artificiales en cámaras de crecimiento controladas, se puede comprobar que es muy útil conocer como generan la luz las distintas fuentes artificiales, lo que enseñaría que la distribución espectral de la energía emitida depende del método de

[4] Henry Draper (1837-1882). Astrónomo norteamericano, fue el primero que estudió las fotografías de los espectros de las estrellas.

[5] Otto Stern (1888-1970) Físico alemán. Estudió el momento magnético de los átomos y las propiedades corpusculares de los fotones. Premio Nobel de física en 1943.

generación.

La luz es medida, a menudo, en términos de iluminancia, definida por el flujo luminoso por unidad de área. La unidad en el S.I. es el lux (= $lum.m^{-2}$), o en niveles altos en hectolux (h lx).[6] El flujo luminoso (lumen) es, por consiguiente, un método de medida de la energía radiante, el cual se realiza multiplicando la energía correspondiente a cada longitud de onda por la eficacia fotópica de la visión para esa longitud de onda; de acuerdo con esto la energía con máxima sensibilidad, 555 nm tiene una eficacia igual a la unidad. El resultado es una curva de eficacia luminosa espectral basada en valores tipificados por la *Commission Internationale de l'Eclairege (C.I.E)*. Detectores del mismo tipo que los aparatos de medida luminosos están, generalmente, equipados con filtros que proporcionan una respuesta espectral de acuerdo con la curva tipo.

Los aparatos que se utilizan para medir la iluminación no son lo suficientemente exactos para niveles altos de energía luminosa.

Las medidas de iluminación para cualquier respuesta biológica, como si se tratase de una visión fotónica, no son correctas, puesto que las respuestas biológicas no tienen nada que ver con la sensibilidad espectral del ojo humano. Sin embargo se pueden usar como indicación relativa de energía a diferentes distancias, en tiempos diferentes o en los mismos sistemas de iluminación. Es innecesario decir que los datos perderían validez, si se tratase de comparar diferentes fuentes luminosas o combinaciones de éstas. En otras palabras, 300 lux de lámparas de incandescencia no inducirían la misma respuesta en las plantas verdes que 300 lux de luz fluorescente, aunque la estimación visual fuese la misma.

Cada vez mayor número de profesionales critican la iluminancia como carente de sentido para el estudio de la iluminación artificial de plantas, y recomiendan las medidas de la energía total como único sistema. Desafortunadamente, medidas de energía absoluta tales como: $W.m^{-2}$, $langleys.min^{-1}$, etc, se realizan con instrumentos que son iguales o menores en respuesta parcial, a todas las longitudes de onda; incluyendo las de fuera de la región fotosintéticamente activa. En consecuencia, estas medidas de la energía absoluta sufren el mismo defecto que las realizadas con datos de iluminación. En este sentido, medidas de energía absoluta de algunas fuentes luminosas tales como el Sol o la lámpara de incandescencia resultarían excepcionalmente altas, a causa de la gran emisión de radiaciones de longitud de onda largas. En consecuencia, la energía total de lámparas fluorescentes puede parecer baja porque en ellas se emite muy poco infrarrojo, sin embargo esto no permite afirmar que la radiación procedente de estas fuentes tenga una acción menor que la procedente de fuentes incandescentes, cuando se trata de la irradiación de plantas.

47.5. INFLUENCIA DE LA LUZ EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.

Las acciones de la luz en el crecimiento de las plantas es una asunto complejo que se sale de los objetivos de este libro, no obstante se puede establecer un esquema en el que se han

[6] En USA se utiliza el $lm.ft^{-2}$ o candelas por pie (fc-c). La conversión es 1 fc-c = 10,764 lx.

considerado los procesos fotoperiódicos[7] y fototrópicos[8] diferentes de los fotomorfogénicos[9] para indicar mejor la dependencia periódica o direccional del estímulo luminoso. En la Fig.47.5 se indica de forma esquemática la respuesta de las plantas a la luz.

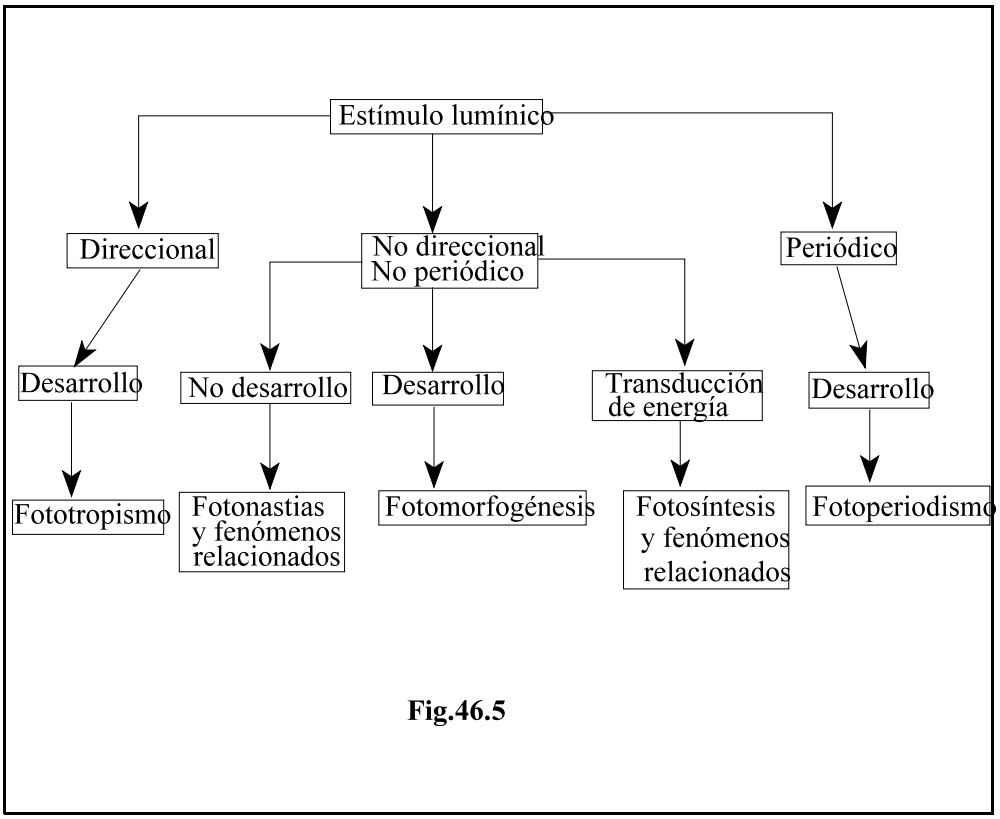


Fig.46.5

[7] Se conoce como *fotoperiodismo*, la respuesta de una planta a la duración relativa del día y de la noche. A este respecto, las plantas pueden clasificarse en: día corto (necesitan un número mínimo de días con un período oscuro ininterrumpido de un mínimo de horas para inducir la floración), día largo (necesitan un mínimo de fotoperiodos de una duración mínima para inducir la floración) y día neutro (son insensibles a la duración del fotoperiodo para inducir la floración)..

[8] Se conoce como *fototropismo* al crecimiento de la planta en respuesta a un estímulo luminoso, cuando el estímulo es debido a la luz solar recibe en nombre de *heliotropismo*.

[9] La luz es capaz de ejercer sobre los vegetales la regulación del crecimiento y desarrollo por procesos distintos del fotosintético. A este tipo de regulación se denomina *fotomorfogénesis*, la cual está controlada por diversos pigmentos de los que el más estudiado es el *fitocromo*.

En la Tabla 47.1 se resume el efecto de la longitud de onda de la radiación sobre distintos aspectos de la fisiología de las plantas

TABLA 47.1

Efecto fisiológico en las plantas de las radiaciones según la longitud de onda

Color	Longitud de onda	Efecto en las plantas
Ultravioleta	350	Letal
Azul	400-500	Fotosíntesis (Plantas compactas y robustas) Fotoperiódicos Fototrópico
Verde	500-600	Fotosintético limitado Formador Fototrópico
Rojo	600-700	Fotosintético máximo Alargamiento del tallo Fotoperiódicos
Rojo-lejano	700-750	Ex cesivo alargamiento del tallo Fotoperiódicos
Infrarrojo	>750	No hay efecto específico

La luz artificial que se suministra a una planta, así como la luz solar, deben tener un espectro de acuerdo con la curva de crecimiento (Fig.47.4). Es decir, una fuente artificial que irradiara la energía según esa curva sería la fuente perfecta.

La utilización de la luz artificial en la irradiación de plantas se clasifica de la siguiente forma:

- Suplemento de la luz solar.
- Ampliación del tiempo de luz solar.
- Sustitución de la luz solar.

47.5.1. SUPLEMENTO DE LA LUZ SOLAR.

Si el período de luz solar es corto, podemos complementarlo utilizando luz artificial, con el objeto de conseguir:

✌ Aumentar el crecimiento de la planta.

✌ Mejorar la calidad del material vegetal.

47.5.2. AMPLIACIÓN DEL TIEMPO DE LUZ SOLAR.

Una ampliación adicional de luz artificial puede servir para:

✌ Ampliar el crecimiento vegetativo.

✌ Aumentar el crecimiento vegetativo.

✌ Adelantar o retrasar el momento de la floración.

✌ Mejorar la calidad y cantidad de las flores.

47.5.3. SUSTITUCIÓN DE LA LUZ SOLAR.

Esta técnica se aplica en cámaras de crecimiento controlado, y se utiliza sobre todo, con fines de investigación .

En los casos en que se realice esta aplicación con fines económicos tienen que darse los siguientes requisitos:

☞ Necesidad de niveles bajos de irradiación.

☞ Necesidad de alta temperatura.

☞ Crecimiento rápido, de forma que se utilice la cámara el menor tiempo posible.

☞ Precio de venta del producto obtenido suficientemente alto.

También se puede utilizar para el crecimiento rápido de bulbos y para regular la germinación.