



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**ASIGNATURA: BIOLOGÍA GENERAL
CICLO I 2017**



Balmore Martínez Sierra¹.

FOTOSÍNTESIS

CONTENIDO

Luz y fotosíntesis

Cloroplastos

La clorofila se localiza en la membrana del tilacoide

La clorofila es el principal pigmento fotosintético

3. Resumen general de fotosíntesis

4. El ATP y el NADPH son productos de las reacciones dependientes de luz: Un resumen general

5. Los carbohidratos se producen durante las reacciones de fijación de carbono: Una descripción general

6. Fotosíntesis en plantas y en el ambiente

CONCEPTOS CLAVE

- La energía luminosa activa la fotosíntesis, que es esencial para las plantas y para la mayor parte de la vida sobre la Tierra.
- La fotosíntesis ocurre en los cloroplastos y requiere el pigmento clorofila.
- La fotosíntesis es un proceso redox.
- Las reacciones que dependen de la luz convierten la energía luminosa a energía química en forma de moléculas de NADPH y ATP.
- Las reacciones de fijación de carbono incorporan CO₂ en las moléculas orgánicas.
- La mayoría de los organismos fotosintéticos son fotoautótrofos.
- La fotosíntesis es importante para las plantas y también para otros organismos.

¹Ing. Agr. Profesor del Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas. UES. Abril de 2017.

INTRODUCCIÓN

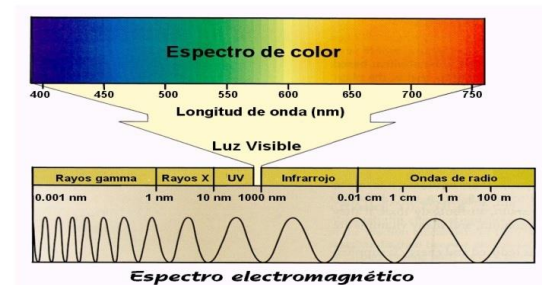
Observe los organismos vivos que lo rodean, los árboles, su mascota, su propio cuerpo. La mayor parte de esa biomasa está hecha de moléculas biológicas que contienen carbono. ¿Cuál es la principal fuente de ese carbono? Sorpresivamente para algunos, esta fuente es el dióxido de carbono del aire. Aunque sus células no pueden tomar dióxido de carbono del aire para incorporarlo en las moléculas orgánicas, algunas células vegetales sí pueden hacerlo. Ellas realizan esto mediante la **fotosíntesis**, una secuencia de eventos donde la energía luminosa es convertida en energía química que se almacena en las moléculas orgánicas. La fotosíntesis es el primer paso del flujo de energía que ocurre a través de la mayor parte del mundo con vida, capturando gran cantidad de la energía que utilizan los organismos vivos. La fotosíntesis no sólo sustenta a las plantas y a otros organismos fotosintéticos como las algas y bacterias fotosintéticas, sino que también sustenta de forma indirecta a gran parte de los organismos no fotosintéticos tales como animales, hongos, protozoarios, y la mayor parte de las bacterias.

Cada año los organismos que realizan la fotosíntesis convierten el CO₂ del aire en miles de millones de toneladas de moléculas orgánicas. Estas moléculas tienen dos importantes funciones tanto en los organismos fotosintéticos como en los no fotosintéticos: constituyen en ambos los componentes estructurales de las células y también son una fuente de energía química para realizar las reacciones metabólicas que sustentan casi toda la vida. Mediante la fotosíntesis también se libera O₂, que es esencial en la respiración celular aeróbica, proceso utilizado por plantas, animales, y gran parte de otros organismos para convertir esta energía química en moléculas de ATP necesarias para impulsar diferentes procesos celulares.

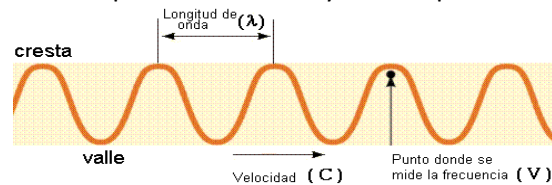
LUZ Y FOTOSÍNTESIS

OBJETIVO DE APRENDIZAJE: Describir las propiedades físicas de la luz y explicar la relación entre la longitud de onda y su energía.

Debido a que gran parte de la vida en este planeta depende de la luz, directa o indirectamente, es importante entender la naturaleza de ella y su esencial participación en la fotosíntesis. La luz visible representa una pequeña parte del amplio rango de radiación continua llamado **espectro electromagnético**.

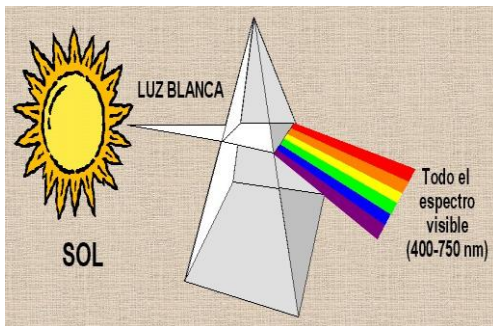


En este espectro toda la radiación viaja como ondas. La **longitud de onda** es la distancia entre el pico de una onda y el de la próxima.



En un extremo del espectro electromagnético están los rayos gamma, con longitudes de onda muy cortas, que se miden en fracciones de nanómetros, o nm (1 nanómetro es igual a 10^{-9} m, una mil millonésima parte de un metro). En el otro extremo del espectro se encuentran las ondas de radio, cuyas longitudes de onda son tan largas que pueden medirse en kilómetros. La franja del espectro electromagnético con longitud de onda entre 380 y 760 nm se llama **espectro visible**, ya que los humanos pueden verlo.

El espectro visible incluye todos los colores del arco iris; el violeta tiene la longitud de onda más corta, y el rojo la más larga.



La radiación electromagnética del Sol incluye la radiación ultravioleta y la luz visible de diversos colores y longitudes de onda.

La luz está compuesta de pequeñas partículas, o paquetes de energía, llamados **fotones** . La energía de un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda: la luz con menor longitud de onda tiene más energía por fotón que la luz con mayor longitud de onda.

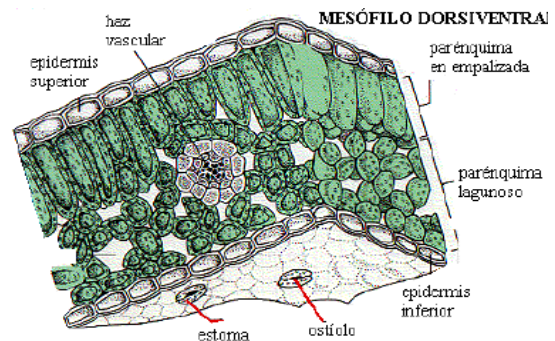
¿Por qué la fotosíntesis depende de la luz que detecta el ojo humano (luz visible) más que de alguna otra longitud de onda de radiación? Sólo se puede especular la respuesta. Quizás la razón es que la radiación dentro de la franja visible del espectro excita ciertos tipos de moléculas biológicas, moviendo electrones hacia altos niveles energéticos. La radiación con longitudes de onda mayores que la luz visible no tiene suficiente energía para estimular a esas moléculas biológicas. La radiación con longitudes de onda menores que la luz visible es tan energética que rompería los enlaces de muchas moléculas biológicas. Así, la luz visible tiene justamente la correcta cantidad de energía para producir los tipos de cambios reversibles en las moléculas que son útiles en la fotosíntesis.

Preguntas de Repaso

- ¿Por qué la fotosíntesis requiere luz visible?
- ¿Qué color de luz tiene mayor longitud de onda, el violeta o el rojo?
- ¿Qué color de luz tiene mayor energía por fotón, el violeta o el rojo?

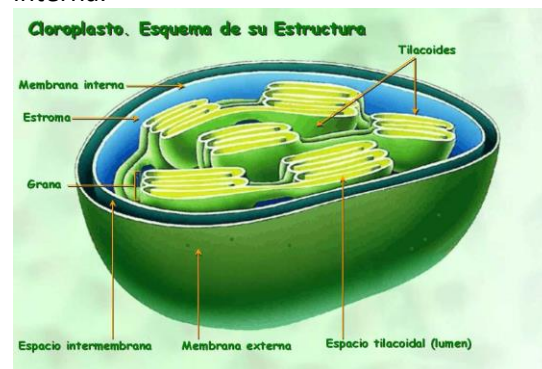
CLOROPLASTOS

Si se examina una sección del tejido de una hoja al microscopio, puede verse que el pigmento verde, la clorofila, no está uniformemente distribuido en la célula sino que está confinado a orgánulos llamados **cloroplastos** . En las plantas, los cloroplastos están principalmente dentro de la hoja en las células del mesófilo, una capa con múltiples espacios de aire y una muy alta concentración de vapor de agua.



El interior de la hoja intercambia gases con el exterior mediante poros microscópicos, llamados estomas. Cada célula mesófila tiene de 20 a 100 cloroplastos.

El cloroplasto, como la mitocondria, está rodeado por las membranas externa e interna.



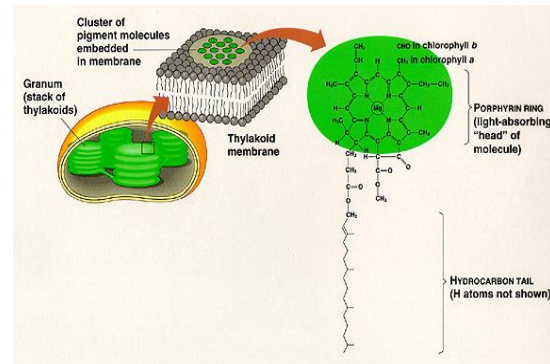
La membrana interna encierra una región llena de fluido llamada **estroma**, que contiene la mayor parte de las enzimas requeridas para producir moléculas de carbohidrato. En el estroma está suspendido un tercer sistema de membranas que forma un conjunto interconectado de sacos planos discoidales llamados **tilacoides**.

La membrana del tilacoide forma un espacio interior lleno de fluido, la **luz del tilacoide**. En algunas regiones del cloroplasto, los sacos tilacoides están acomodados en pilas o montones de nombre **grana** o granos. Cada grana se parece a una pila de monedas y cada “moneda” es un tilacoide. Algunas membranas tilacoides se extienden de una grana a otra. Las membranas tilacoides, como las membranas mitocondriales internas, están implicadas en la síntesis de ATP. (Las procariontas fotosintéticas no tienen cloroplastos, pero con frecuencia las membranas tilacoides se acomodan alrededor de la periferia celular como pliegues de la membrana plasmática).

Las membranas tilacoides contienen varios tipos de **pigmentos**, que son sustancias que absorben luz visible. Distintos pigmentos absorben luz de diferentes longitudes de onda. La **clorofila**, el pigmento fundamental de la fotosíntesis, absorbe luz sobre todo en las regiones azul y rojo del espectro visible. La luz verde no es apreciablemente absorbida por la clorofila. Las plantas por lo común son verdes porque parte de la luz verde que les incide, se dispersa o se refleja.

Una molécula de clorofila tiene dos partes importantes, una estructura de anillo y una larga cadena lateral. La estructura anular, llamada **anillo de porfirina**, se compone de pequeños anillos de átomos de carbono y nitrógeno; el anillo de porfirina absorbe energía luminosa. El anillo de porfirina de clorofila es muy similar a la parte o grupo **hemo** del pigmento rojo de **hemoglobina** en los glóbulos rojos de la sangre. Sin embargo,

a diferencia del grupo hemo, que contiene un átomo de hierro en el centro del anillo, la clorofila tiene un átomo de **magnesio** en esa posición. La molécula de clorofila también contiene una larga cadena lateral hidrocarbonada que hace a la molécula extremadamente no polar que la fija a la membrana.



Todas las moléculas de clorofila que se encuentran en la membrana del tilacoide están asociadas a ella, mediante **proteínas de unión a clorofila**; los biólogos han identificado alrededor de 15 diferentes tipos. Cada membrana del tilacoide está llena de moléculas de clorofila con una orientación precisa para absorber la luz y de proteínas de unión a clorofila que facilitan la transferencia de energía de una molécula a otra.

Existen varios tipos de pigmentos de clorofila. El más importante es la **clorofila a**, que inicia las reacciones dependientes de luz en la fotosíntesis. La **clorofila b** es un pigmento accesorio que también participa en la fotosíntesis. Difiere de la clorofila a solo en el grupo funcional unido al anillo de porfirina: el grupo metilo (-CH₃) en la clorofila a se reemplaza en la clorofila b por un grupo carbonilo terminal (-CHO). Esta diferencia cambia el rango de longitudes de onda de la luz que absorbe y refleja la clorofila b, confiriéndole una coloración amarillo-verdosa, mientras que la clorofila a es verde brillante.

Los cloroplastos tienen otros pigmentos fotosintéticos accesorios, tales como los

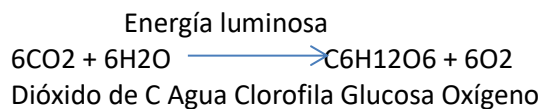
carotenoides, que son amarillo y anaranjado. Los carotenoides absorben longitudes de onda de luz diferentes a las absorbidas por la clorofila, expandiendo así el espectro de luz que proporciona energía para la fotosíntesis. La clorofila puede ser excitada directamente mediante la energía proveniente de una fuente luminosa, o indirectamente por la energía transferida de los pigmentos accesorios que han sido excitados por la luz. Cuando una molécula carotenoides es excitada, su energía se puede transferir a la clorofila *a*. Además, los carotenoides son antioxidantes que desactivan formas altamente reactivas del oxígeno generado en los cloroplastos.

RESUMEN GENERAL DE LA FOTOSÍNTESIS

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Describir la fotosíntesis como un proceso redox.
- Distinguir entre reacciones dependientes de luz y reacciones de fijación de carbono de la fotosíntesis.

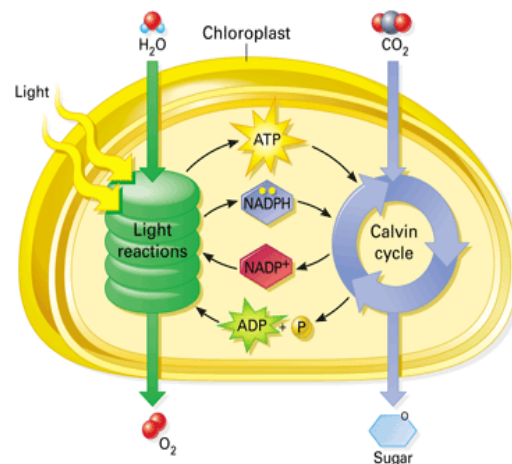
Durante la fotosíntesis, una célula utiliza energía luminosa capturada por la clorofila para realizar la síntesis de carbohidratos. La reacción general de la fotosíntesis puede resumirse como sigue:



Todo el oxígeno producido proviene del agua. Cuando se analiza este proceso, resulta que los átomos de hidrógeno se transfieren del H₂O al CO₂ para formar carbohidratos, así que puede reconocerse como una reacción redox. Recuerde que en una reacción redox uno o más electrones, usualmente como parte de uno o más átomos de hidrógeno, se transfieren de un donador de electrones (un agente reductor) a un aceptor (un agente oxidante).

Cuando los electrones se transfieren, también parte de su energía se transfiere. Sin embargo, la ecuación resumida de la fotosíntesis es algo imprecisa o errónea porque realmente no ocurre una transferencia directa de átomos de hidrógeno. Dicha ecuación resumida describe *que* pasa pero no *como* ocurre. El *cómo* es más complejo e implica múltiples pasos, que incluyen reacciones redox.

Las reacciones de fotosíntesis se dividen en dos fases: aquellas dependientes de luz (corresponde a la parte *foto* de la fotosíntesis) y aquellas reacciones de fijación de carbono (la parte *síntesis* de la fotosíntesis). Cada conjunto de reacciones ocurre en una parte distinta del cloroplasto: las reacciones dependientes de luz están asociadas con los tilacoides, y las reacciones de fijación de carbono ocurren en el estroma.



La energía luminosa se convierte en energía química en las **reacciones dependientes de luz**, las cuales están asociadas con los tilacoides. Las reacciones dependientes de luz inician conforme la clorofila captura energía luminosa, causando que uno de sus electrones se mueva a un estado de mayor energía. El electrón energizado se transfiere a una molécula aceptor y se reemplaza por un electrón del H₂O. Cuando esto sucede, el H₂O se rompe y se libera oxígeno molecular.

Algo de energía de los electrones energizados se utiliza en la fosforilación de **difosfato de adenosina (ADP)**, formándose **trifosfato de adenosina (ATP)**. Además, la **nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADP⁺)** se reduce y se produce **NADPH**. El NADPH es un transportador de hidrogeno, similar al NADH, difiriendo por la adición de un grupo fosfato. A diferencia del NADH, que generalmente está asociado con rutas catabólicas semejantes a la respiración celular aeróbica, el NADPH tiene la capacidad de proporcionar electrones de alta energía para impulsar ciertas reacciones en rutas anabólicas, tales como las reacciones de fijación de carbono de la fotosíntesis. Así, los productos de las reacciones dependientes de luz, **ATP** y **NADPH**, se necesitan en las reacciones de fijación de carbono que necesitan energía.

La estructura de las moléculas de ATP y de NADPH producidas durante la fase dependiente de luz permite transferir energía química pero no para almacenarla por largos periodos. Por esta razón, parte de esta energía se transfiere a los enlaces químicos en los carbohidratos, que se pueden producir en grandes cantidades y almacenar para uso posterior. Conocidas como **fijación de carbono**, esas reacciones “fijan” los átomos de carbono del CO₂ a cadenas carbonadas ya existentes de moléculas orgánicas. Las reacciones de fijación de carbono no tienen una directa necesidad de luz, así que previamente se les llamo reacciones “oscuras”. Sin embargo, ellas no requieren oscuridad; en efecto, muchas de las enzimas que participan en la fijación de carbono son mucho más activas en la luz que en la oscuridad. Además, las reacciones de fijación de carbono dependen de los productos de las reacciones dependientes de luz. Las reacciones de fijación de carbono ocurren en el estroma del cloroplasto.

Pregunta de repaso: ¿De qué maneras las reacciones de fijación de carbono dependen de las reacciones dependientes de luz?

FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS Y EN EL AMBIENTE

OBJETIVO DE APRENDIZAJE: Establecer la importancia de la fotosíntesis tanto para una planta como para otros organismos.

Aunque las plantas se caracterizan como foto autótrofas, no todas las células vegetales realizan la fotosíntesis, y aun las células con cloroplastos también tienen mitocondrias y efectúan la respiración aeróbica. En efecto, la respiración que utiliza moléculas orgánicas, que la planta ha hecho por sí misma, es la fuente directa del ATP necesario para la mayor parte del metabolismo vegetal.

Varios mecanismos regulan las actividades relativas de la fotosíntesis y la respiración aeróbica en las plantas. Aunque las enzimas del ciclo de Calvin no requieren luz para funcionar, están realmente reguladas por la luz. Como consecuencia de las reacciones dependientes de luz, el estroma adquiere un carácter más básico (aproximadamente pH de 8), activando el **rubisco** y a otras enzimas del ciclo de Calvin. En contraste, la luz tiende a inhibir las enzimas de la glicolisis en el citosol. Así que la fotosíntesis, no la respiración aeróbica, se favorece con la luz. Cuando la luz es muy débil, en un punto conocido como el *punto de compensación lumínica*, la fotosíntesis aun ocurre, pero esto no es evidente porque la tasa de fijación de CO₂ por fotosíntesis es igual a la tasa de liberación de CO₂ mediante respiración aeróbica. Por otro lado, cuando la luz es muy brillante, la fotorrespiración puede disminuir significativamente la producción fotosintética.

Son asombrosos los beneficios de la fotosíntesis para el ambiente. De hecho, al fijar carbono, los fotoautótrofos son la

fuelle principal de prácticamente todas las moléculas orgánicas empleadas como energía y fuentes de carbono por los quimioheterótrofos como nosotros mismos. Al realizar la fijación de carbono, los fotoautótrofos eliminan CO₂ de la atmósfera, disminuyendo así el calentamiento global. También de primordial importancia es el hecho que la fotólisis del agua por medio del fotosistema II libera el O₂ que todos los organismos aeróbicos necesitan para la respiración aeróbica. El oxígeno molecular es tan reactivo que no podría mantenerse en la atmósfera si no fuera constantemente repuesto de esta manera.

Repaso

- ¿Cómo obtiene energía una célula raíz?
¿Moléculas orgánicas?
- ¿Cuál es la fuente del oxígeno molecular en la atmósfera de la Tierra?

Bibliografía

Solomon, E. P; Berg, L.R.; Martin, D.W. 2013
Biología. Trad. AE García Hernández. 9 ed.
México D.F. MX. Cengage Learning Editores.
p. 193-209.