

ANEXO - Trabajo Práctico Nº 5

Fotosíntesis real y aparente



Se define fotosíntesis como un proceso físico-químico por el cual las plantas, las algas y las bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. Todos los organismos con capacidad fotosintética contienen uno o más pigmentos capaces de absorber radiación visible que desencadena las reacciones fotoquímicas de la fotosíntesis. La energía capturada es utilizada para reducir el CO₂ a carbohidratos (Figura 1).

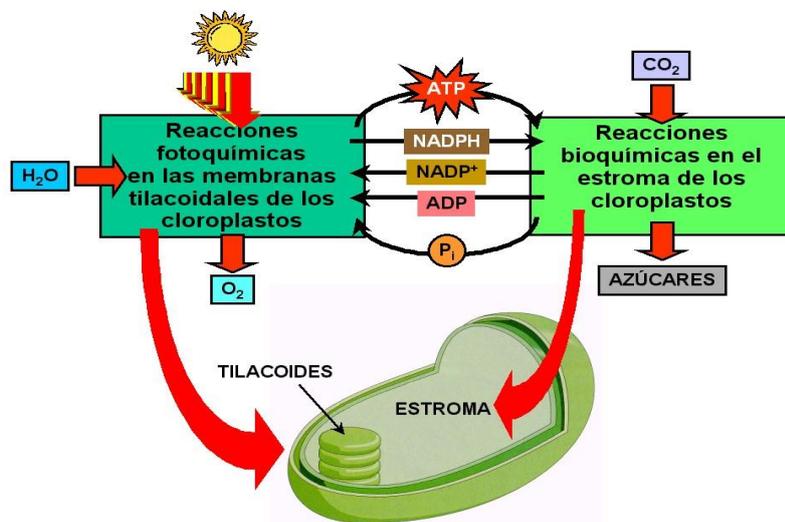


Figura 1: Esquema de las reacciones involucradas en el proceso de fotosíntesis

Las primeras definiciones dadas por la bibliografía sobre punto de compensación indican que es el estado donde se equilibran la actividad fotosintética y respiratoria (el CO₂ asimilado por fotosíntesis y el desprendido por respiración). Posteriormente se definió como el punto donde se equilibran los procesos anabólicos (de síntesis de sustancias) y catabólicos (de degradación de metabolitos).

Con el avance de los estudios de bioquímica en las plantas se considera en la actualidad que ninguna de las definiciones anteriormente enunciadas es del todo correcta, considerando por ejemplo que el proceso respiratorio es fundamental para el trabajo celular y síntesis de sustancias en numerosas rutas metabólicas, por lo tanto no se lo incluiría en la clasificación de un proceso catabólico. También se ha encontrado que las fuentes de CO₂ desprendido por la planta son, además de la respiración, otras rutas metabólicas alternativas en la obtención de energía como son la fotorespiración, la respiración insensible al cianuro y el ciclo de las pentosas (Cuadro 1). Por otro lado, los procesos de fijación de las plantas pueden llevarse a cabo por la enzima Ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa (Rubisco en forma abreviada) en el ciclo de Calvin, en plantas C3 o de baja eficiencia, como también a través de la enzima Fosfoenolpirúvico carboxilasa (PEP carboxilasa) en plantas de alta eficiencia (C4) y en plantas crasas CAM (del inglés crassulacean acid metabolism) en la incorporación nocturna de CO₂ (Figura 2).

Todo lo expuesto anteriormente hace necesario redefinir al punto de compensación sin mencionar los procesos que intervienen en la incorporación o desprendimiento del CO₂, pero sí teniendo en cuenta que el mismo es variable entonces en función de determinado sistema metabólico de referencia. Por ello se puede definir al mismo como "*el estado en el cual se equilibran, en la planta entera o parte de ella, el CO₂ absorbido con el desprendido, sin ganancia ni pérdida de peso seco, resultando en este punto la fotosíntesis **neta** igual a cero*".

En Fisiología Vegetal se han estudiado tres puntos de compensación en función de las tres grandes variables que inciden en la fijación o desprendimiento de CO₂ en los vegetales, siendo ellos:

- ✓ **Punto de compensación lumínico:** "Es la intensidad de luz o irradiancia a la cual se equilibran el CO₂ absorbido con el desprendido, manteniendo constante la temperatura y la concentración de CO₂."
- ✓ **Punto de compensación de CO₂:** "Es la concentración de CO₂ a la que se equilibran el CO₂ absorbido con el desprendido, manteniendo constantes la temperatura y la irradiancia".
- ✓ **Punto de compensación de temperatura:** "Es la temperatura en la cual se equilibran el CO₂ absorbido con el desprendido, manteniendo constantes la intensidad de luz y la concentración de CO₂."

	Plantas C3	Plantas C4	Plantas CAM
Anatomía de la hoja:	Células de la vaina del haz sin apenas cloroplastos.	Células de la vaina del haz con grandes cloroplastos.	Células con grandes vacuolas
Carboxilasa Final:	RuBisCO	RuBisCO	RuBisCO
Metabolismo adjunto:	Ninguno	Transferencia CO ₂	Almacenaje de CO ₂
Carboxilasa adjunta:	Ninguna	PEP carboxilasa	PEP carboxilasa
Fotorrespiración:	Alta	Baja	Moderada
Abertura estomática:	Día	Día	Noche
Tipos celulares implicados en el proceso:	1	2	1
Incorporación directa del CO₂	Si	No	No
Gramos de H₂O necesarios para producir 1 g ps	450 a 950	250 a 350	50 a 55
Punto de compensación del CO₂ (ppm)	30-70	0-10	0-5
Temperatura óptima para la fotosíntesis	15-25 °C	30-47 °C	Sobre 35 °C
Ton de ps.ha⁻¹.año⁻¹	20-25	35-40	Baja y variable
Región climática:	Templada	Tropical	Árida

Figura 2: Características anatómicas y fisiológicas en plantas C3, C4 y CAM

El PC luz alcanza valores más bajos en plantas C3 que en plantas C4, principalmente por el menor requerimiento energético de las primeras, desde el momento que deben mantener un solo ciclo de fijación de CO₂, versus dos en C4. Además, las especies C3 están adaptadas en cuanto a su aparato fotosintético, para intensidades de luz más bajas, propias de climas templados y latitudes más altas, no así las C4 que son plantas adaptadas a condiciones de mayor irradiancia, propias de climas tropicales y latitudes más bajas (Figura 3)

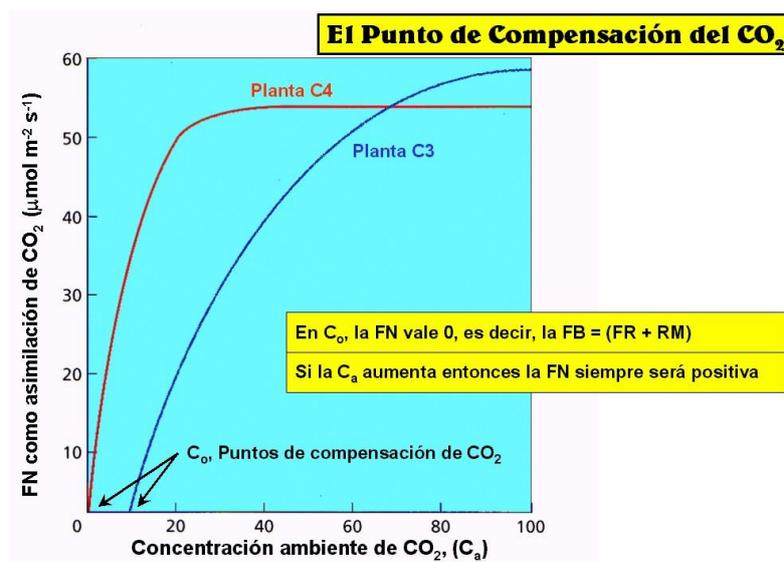


Figura 3: Punto de compensación lumínico para plantas C3 y C4

Con respecto a la edad de la hoja analizada, las jóvenes tendrán un PC más bajo que las hojas viejas, debido a que estas últimas han comenzado la senectud y en consecuencia existen procesos degradativos de los pigmentos clorofilianos y pérdida de funcionalidad de los cloroplastos.

En las plantas que crecen a plena luz es común que, en algún momento del día, las hojas ubicadas en el interior del canopeo se encuentren viviendo en el PC luz o debajo de él, debido a la atenuación de la intensidad de luz que ejerce el follaje. Por lo general, las hojas que viven por un tiempo prolongado en el PC-luz se desprenden de la planta en razón de que la fotosíntesis no compensa la pérdida de CO₂ de la escotorrespiración. Por esta razón, es común encontrar el interior del canopeo de muchas especies arbóreas y arbustivas parcial o totalmente desfoliado. En muchos casos, no obstante, las hojas que se encuentran sombreadas sufren un proceso de adaptación que les permite aumentar la eficiencia fotosintética de modo tal que, aun con bajas irradiancias, la asimilación del CO₂ excede la pérdida por respiración.

En dicotiledóneas, las hojas adaptadas a la sombra tienen mayor superficie foliar pero su lámina es más delgada que las hojas "soleadas". Estas últimas se vuelven más gruesas que las primeras debido a que forman células en empalizada más largas o capas adicionales de estas células. Las hojas sombreadas contienen más clorofila, especialmente clorofila b, sus cloroplastos tienen más granas e inclusive más membranas tilacoidales y existe una reorientación de los mismos con el objetivo de maximizar la captación de luz. Los cloroplastos de estas hojas tienen menor contenido de proteínas (Rubisco y probablemente proteínas transportadoras de electrones), adaptándose de esta forma a invertir su energía en producir más pigmentos recolectores de luz en virtud de la reducida irradiancia que llega a ellas.

No obstante estas adaptaciones, las hojas sombreadas tienen 5 veces menos capacidad de fotosíntesis que las hojas "soleadas" de la misma especie. Por todo lo antes mencionado, el PC luz decrece (principalmente porque su tasa respiratoria es mucho más baja), y la fotosíntesis es saturada a niveles de baja irradiancia.

Las plantas adaptadas a vivir a pleno sol. (plantas heliófilas) poseen un PC luz más elevado que las habituadas a vivir a la sombra (plantas esciófilas). Este comportamiento se explica principalmente por la menor tasa respiratoria de las plantas esciófilas (Figura 4).

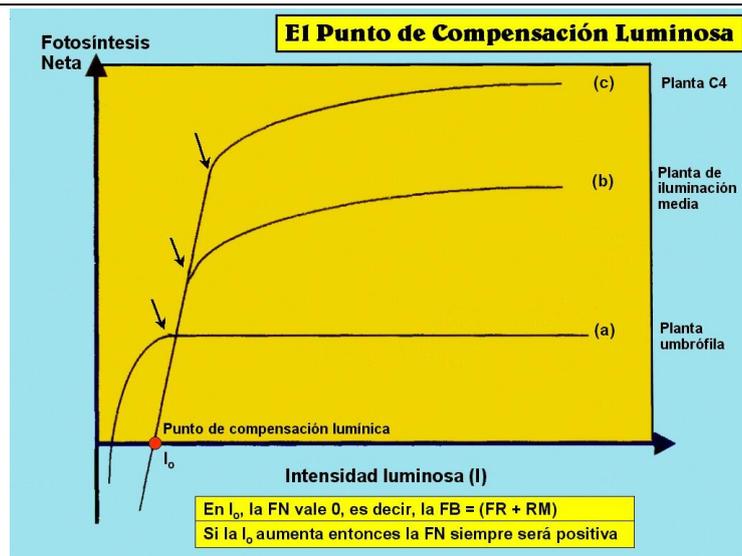


Figura 4: Punto de compensación lumínico para plantas umbrófilas, esciófilas y C4.

En general, el valor del PC luz es más alto cuando se considera toda la planta que cuando sólo se toma una parte de ella (hojas, frutos verdes, ramas etc.) debido a la distinta relación células que respiran - células que fotosintetizan.

El PC luz para un mismo individuo u órgano no tiene un valor constante. El factor exógeno que lo modifica de manera más acentuada es la temperatura, dado que como incrementa más la respiración que la fotosíntesis, cuando se eleva, también lo hace el PC luz. Por ejemplo una especie cuyo PC-luz es de $4 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a 16°C puede aumentarlo a $12.5 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ aprox. a 30°C .

En líneas generales, los valores de PC luz para hojas de plantas esciófilas (hiedra, helechos, etc.) son del orden de 0,3 a 1 % de la luz solar plena, en un día diáfano de verano, al mediodía, .que representan en 33° de latitud S, $25 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. En hojas de plantas heliófilas (girasol, peral, soja etc.) este valor es del 1 al 8 % (25 a $200 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ aprox.), para la misma latitud.

Equipos de medición de fotosíntesis en plantas

Existen varios sistemas de medición de fotosíntesis en plantas entre ellos los analizadores infrarrojo o más comúnmente denominados IRGA.

Los analizadores de gases portátiles (IRGA) permiten así realizar mediciones de intercambio gaseoso en hojas vivas de plantas en su ambiente natural o en laboratorio. De esta forma se puede estudiar el comportamiento fotosintético de una misma especie en distintos ambientes o de distintas especies en un ambiente común.

El equipo de análisis de gases portátiles denominado LI-6400 es un sistema abierto en el que la concentración de gases se evalúa en la misma cámara de medición. El LI-6400 cuenta con dos

IRGA, uno mide la concentración de CO₂ y H₂O que provienen de la atmósfera (referencia) y el segundo, colocado en contacto con la cámara (muestra), determina la concentración de CO₂ y H₂O producto del intercambio realizado por la hoja (Figura 5).

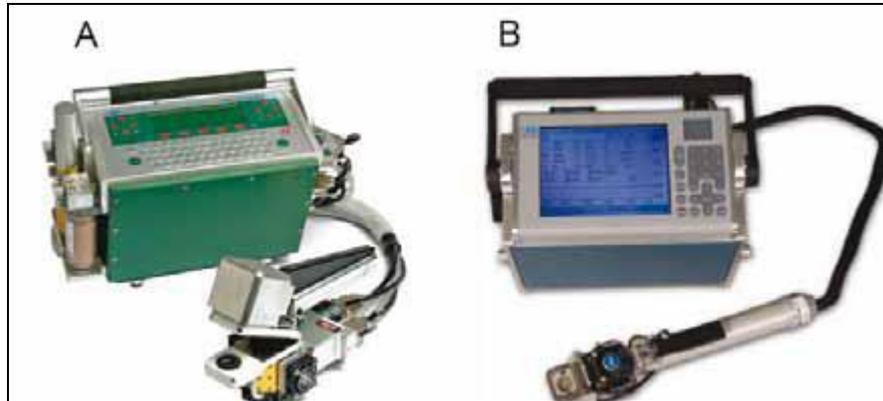


Figura 5: Sistemas IRGA del tipo abierto para la medición de intercambio gaseoso. A) LI-6400 (Li-Cor, Nebraska, EE. UU.); B) Ciras-2 (PP Systems, Amesbury, EE. UU.)

Bibliografía

- ✓ Guía de Trabajos Prácticos de Fisiología Vegetal. U.N.P.S.J.B. 1986.
- ✓ Guía de Trabajos Prácticos de Introducción a la Botánica. UBA.
- ✓ Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1992. Plant Physiology, fourth edition. Wadsworth (ed.), Belmont, Calif., pp.: 225-263.
- ✓ Sivori, E. M., Montaldi, E. R. y Caso, O. H. 1980. Fisiología Vegetal. Hemisferio sur (ed.), pp.: 57-116.