


ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA LUZ EN LA FOTOSÍNTESIS



LUCÍA PARDO LÓPEZ
TUTORAS: EVA MARÍA FIGUEROA E INMACULADA VERA CHACÓN
I.E.S. ARQUITECTO VENTURA RODRÍGUEZ

2021/2022



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría otorgar una especial mención a mi centro, I.E.S. Arquitecto Ventura Rodríguez por brindarme la oportunidad de poder realizar este trabajo de investigación.

Agradecer a mis dos tutoras, Eva Figueroa Fernández e Inmaculada Vera Chacón, por guiarme en todo momento, hacerme ver todo desde otra perspectiva, ayudarme a ver que nada es imposible, por prestarme su tiempo y estar siempre a mi lado.

También me gustaría agradecer al resto de profesores que indirectamente han colaborado en la realización del proyecto, impartiendo charlas, resolviendo dudas o aportando un nuevo punto de vista.

También agradecer a Jose Luis Sousa, empleado de Vernier, por guiarme y asesorarme a la hora de comprar y elegir el medidor de oxígeno más adecuado.

A Laura Santamaría Gonzalo, por escuchar atentamente el proyecto, sugerirme mejoras y aconsejarme en la compra de las plantas.

A mi familia, por apoyarme en todo momento, festejando las buenas noticias y llorando las malas, por sufrir conmigo, por animarme a continuar cuando parecía que todo estaba perdido.

Me gustaría también agradecer a todos mis compañeros de 2º Bachillerato E, por apoyarnos mutuamente, vivir y compartir esta intensa experiencia. Especialmente me gustaría agradecer a Ana Bosque, porque sin ella este proyecto no habría sido posible. Ella me dio la idea principal, me ha tenido que soportar en mis peores momentos, ha celebrado los avances y ha sido mi apoyo esencial en este proyecto, al igual que lo ha sido Sara Díaz que también me ha animado haciéndome ver que yo podía con ello, apoyándome cuando más lo necesitaba, y sobre todo por vivir esta experiencia junto a mi.

Otra persona esencial en este proyecto ha sido Adriana Sotos, no solo me ha aconsejado, guiado y ayudado siempre que lo he necesitado, sino que ha sufrido el proyecto conmigo y me ha animado constantemente a seguir.

Humildemente, también me gustaría agradecerme a mi misma, las ganas, sacrificio y tiempo empleado en el trabajo, me gustaría agradecerme el no haber tirado la toalla, por darme cuenta que todo es posible, y permanecer con actitud positiva todo el tiempo.

ABSTRACT

We live surrounded by plants and, with them, the process of photosynthesis, which is vital for life as we know it. It helps to reduce the amount of carbon dioxide found in the atmosphere and increase the levels of oxygen. As a result, photosynthesis is known as the most important chemical and biological process. For this reason, my research project aims to analyse how light can affect photosynthesis and if it is possible to make it more efficient.

Within plant cells, there is one organelle that is in charge of carrying out photosynthesis: the chloroplast. Chloroplasts contain photosynthetic pigments, which are responsible for the absorption of the light energy needed for photosynthesis. There are many types of pigments, and each of them can absorb a different wavelength of light. The most common are chlorophyll A and B, which absorb blue, violet and red light. However, there are certain wavelengths of light that aren't absorbed at all, such as green light, which is completely reflected to give plants their characteristic green appearance. Therefore, in this project, it was studied how white, red, blue and green light affect photosynthesis by measuring how the concentration of oxygen produced by a plant over two hours changed with the different colour lights.

The initial hypothesis was that with the white light the plant was going to produce the most oxygen, followed by the blue, red and finally green lights. Firstly, five species of *Epipremnum aureum* (generally known as pothos) were placed in a hermetic box, which had two holes, one for the oxygen sensor and the other one for the light bulb. Data was taken every two minutes over a period of two hours. Afterwards, the same process was repeated but with a different species, *Pelargonium zonale*, most commonly known as geranium.

In the end, the data collected provided evidence that supported the initial hypothesis, as it was observed that the colour of the light did indeed affect the amount of oxygen produced. The white light, since it carries more energy, produced significantly more oxygen. This could be explained by the fact that white light contains all the different wavelengths, therefore the rate of photosynthesis was maximised, resulting in a high oxygen production. After white light, the colour light to produce the most oxygen was red, followed by blue and then green. The order of the blue and red light changed compared to what it was expected, although they produced very similar amounts of O₂. And finally, the green light produced the least amount of oxygen, as expected, because the energy carried in this wavelength is not absorbed by the plant as easily as the other colours.

Lastly, to complete the practical, one last experiment was done with the purpose of understanding why after the first hour the oxygen concentration levelled off. The same process was carried out but for a longer period of time, 12 hours, and only with the white light and sunlight. The hypothesis for this second experiment, that oxygen concentration will keep increasing but subtly, was wrong as, in general, after the first hour, the oxygen concentration decreased. This can be explained by two reasons. The high oxygen concentration and temperature lead to an increase in the rate of respiration, which is the opposite process of photosynthesis. As a result, more oxygen was used up than produced, explaining why the oxygen concentration dropped.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	6
FÍSICA	6
1. ¿Qué es la luz?	6
2. Espectro visible	6
BIOLOGÍA	6
1. ¿Qué es la fotosíntesis?	6
1.1. Elementos necesarios para la fotosíntesis	7
1.2. Fotosistemas	8
1.3. Fases de la fotosíntesis	9
1.3.1. Fase lumínica.....	9
1.3.1.1. Fase lumínica acíclica	9
1.3.1.2. Fase lumínica cíclica	10
1.3.2. Fase oscura	11
2. Factores que influyen en la fotosíntesis	11
CAPÍTULO 2: MARCO PRÁCTICO	13
1. Parte experimental I	13
1.1. Introducción e hipótesis de partida.....	13
1.2. Experimento fallido; resultados.....	14
1.3. Experimento 80W durante 2 horas; resultados.....	16
1.4. Conclusiones I.....	17
2. Parte experimental II	18
2.1. Introducción y segunda hipótesis	18
2.2. Experimento 80 W durante 12 horas; resultados.....	19
2.3. Conclusiones II.....	19
FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	21
BIBLIOGRAFÍA	22

INTRODUCCIÓN

Hace más de tres mil millones de años, gracias a los primeros organismos fotosintéticos se produjeron cambios esenciales en la composición de la atmósfera al liberarse oxígeno y reducir los niveles de dióxido de carbono del medio. Este cambio, impulsado por la fotosíntesis, permitió la aparición de organismos aeróbicos. A partir de entonces, los organismos se fueron desarrollando hasta crear la vida tal y como la conocemos.

Uno de los organismos fotosintéticos más abundantes hoy en día son las plantas, encargadas de reducir los niveles de CO₂ del medio que el ser humano se empeña en incrementar. Desde la Revolución Industrial, la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se duplicó desde las 278 partes por millón (ppm) a 400 ppm. Y este aumento se manifiesta en el cambio climático. Pero a pesar de que los niveles de emisión de CO₂ continúan en aumento, la concentración de este gas en aire se mantiene estable desde 2002.

Tal y como recoge una publicación de la revista “*Nature Communications*”, el incremento del CO₂ ha provocado que la capacidad de las plantas de absorber el dióxido de carbono también haya incrementado hasta prácticamente duplicarse. Para poder doblar su capacidad las plantas han crecido tanto en cantidad como en calidad, tal y como señalan los investigadores del CSIRO¹ y es que, a pesar de la deforestación, la masa vegetal ha aumentado al acelerarse la fotosíntesis.

De ahí la importancia de la fotosíntesis. Las plantas necesitan de sustancias básicas para sobrevivir como el agua o CO₂, además de la luz, para poder fabricar su propio alimento. La luz es el único elemento que no pueden obtener por sus propios medios, ya que las plantas pueden ser autosuficientes, tal y como demostró el inglés David Latimer, que plantó un género de *Tradescantia*² en una botella hermética. La planta desarrolló su propio ecosistema dentro de la botella. La botella solo se abrió en 1972 para regarla y desde entonces la planta ha conseguido ser autosuficiente, a excepción de la luz, que la obtenía al colocar la botella cerca de una ventana.

Por ello en este proyecto de investigación me gustaría fusionar mis dos asignaturas favoritas, estudiando uno de los procesos bioquímicos de mayor relevancia para la biosfera, la fotosíntesis, demostrando que la física y la biología pueden ir de la mano. Intentaré dar respuesta al efecto que tienen las diferentes longitudes de ondas en el proceso fotosintético.

¹ Organización de Investigación Científica e Industrial del Commonwealth.

² Anexo 1: Ilustración de planta embotellada.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

FÍSICA

1. ¿Qué es la luz?

La luz es un tipo de **radiación electromagnética** que viaja en forma de **ondas** por el espacio. Las ondas están formadas por **crestas** (punto más alto) y **valles** (punto más bajo). Dependiendo de la longitud³ de estas ondas (distancia entre cresta y cresta) obtendremos el **espectro electromagnético**⁴, formado por distintas radiaciones.

Aunque la luz actúa en forma de ondas, también puede ejercer la función de una **partícula** a la que denominaremos fotón (dualidad onda-corpúsculo). Esta partícula es elemental, ya que no tiene masa y se encarga de portar una cantidad fija de energía. Aquellas radiaciones con menor energía tienen una longitud de onda larga, mientras que las que presentan una longitud de onda más corta presentan mayor energía.

2. Espectro visible

El ojo de los seres humanos solo es sensible a una pequeña parte del espectro electromagnético, la **luz visible**⁵. Esta incluye un rango de longitud de onda entre 400nm y 700nm (del violeta al rojo).

La luz **blanca** es el resultado del conjunto de todas las radiaciones luminosas visibles, por ello al descomponer la luz blanca observamos el arcoíris. Por el contrario, el **negro** se corresponde con la ausencia de luz visible.

BIOLOGÍA

1. ¿Qué es la fotosíntesis?

Al descomponer etimológicamente la palabra fotosíntesis se obtiene, foto (luz) y síntesis (crear). Se refiere al proceso a través del cual se sintetizan compuestos **orgánicos** a partir de **inorgánicos** usando la energía de la **luz**. La materia orgánica fabricada almacena **energía química** en sus enlaces. Por ello, se considera un proceso físico-químico.

La fotosíntesis la realizan las plantas, algas y bacterias fotosintéticas.

³ Anexo 2: Ilustración de las características principales de las ondas (longitud de onda).

⁴ Anexo 3: Ilustración del espectro electromagnético con distintas radiaciones.

⁵ Anexo 4: Ilustración de la luz visible del espectro electromagnético.

Existen dos tipos de fotosíntesis: **anoxigénica**, cuando no se produce oxígeno y **oxigénica**, cuando uno de los productos de deshecho es el oxígeno molecular. Este proceso de fotosíntesis oxigénica⁶, se describe en la siguiente ecuación general:



Generalmente este proceso tiene lugar en los tejidos verdes de las plantas, principalmente en las hojas, donde encontramos un orgánulo llamado **cloroplasto**.

Para que los cloroplastos puedan realizar la fotosíntesis presentan las siguientes estructuras⁷:

- **Membrana tilacoidal:** es donde se encuentran los pigmentos fotosintéticos y, por tanto, es donde se capta la energía solar. Esta membrana delimita un espacio llamado **espacio tilacoidal**. El conjunto de la membrana y el espacio tilacoidal son unas vesículas llamadas **tilacoides de grana**.
- **Estroma:** espacio interno del cloroplasto con líquido que baña a los tilacoides. Es donde se produce la fase oscura de la fotosíntesis.

1.1. Elementos necesarios para la fotosíntesis

Para que la fotosíntesis tenga lugar la planta necesita: dióxido de carbono, agua, sales minerales y energía lumínica.

El **dióxido de carbono** se incorpora en las plantas desde la atmósfera gracias a unas estructuras que se encuentran en las hojas de las plantas fundamentalmente (llamadas **estomas**). Estas estructuras, que son una especie de poros, están compuestas por dos células oclusivas, que van a abrir o cerrar el espacio que delimitan dependiendo de las necesidades de la planta. Gracias a esta estructura, se produce el **intercambio de gases** con la atmósfera.

El **agua**, principal fuente de electrones, es extraída por las raíces; también por estas estructuras entran las **sales minerales**. Ambos componentes forman la savia bruta, que asciende por los vasos de xilema, desde las raíces a las partes verdes de la planta. Este ascenso ocurre por tres tipos de vías: **presión radicular**, **cohesión del agua** y **transpiración de las hojas**.

⁶ Anexo 5: Ilustración de la ecuación general de la fotosíntesis oxigénica.

⁷ Anexo 6: Ilustración de la hoja a las estructuras de los cloroplastos.

La **energía lumínica** es captada por los **pigmentos fotosintéticos**, que son compuestos químicos capaces de absorber longitudes de onda del espectro visible, y reflejar otras proporcionando el color característico de cada planta.

Existen distintos tipos de **pigmentos fotosintéticos**, que se van a encargar de absorber distintas longitudes de onda:

- **Ficobilinas**: son propias de algunas algas y cianobacterias. Posee un espectro de absorción entre **480-670nm**, en el verde-anaranjado.
- **Carotenoides**: absorben un rango de colores violeta y azul verdoso (entre **450-490nm**). Mientras que reflejan el rojo, amarillo o naranja, que es color característico de las plantas que tienen estos pigmentos. Dentro de este grupo, los pigmentos más importantes son las xantofilas y los β -carotenos.
- **Clorofila**: propio de plantas terrestres. Aunque hay varios tipos, se habla principalmente de dos, las más abundantes, la clorofila A y la B. La única diferencia entre ambas es el radical. La **clorofila A** presenta un grupo metilo al final (-CH₃), y la **clorofila B** un grupo carbonilo (-CHO), lo que permite una absorción de longitudes de onda distintas. Por un lado, la clorofila A, tiene un rango de **430 a 662 nm** que le da el color verde característico, mientras que la B absorbe longitudes de onda entre **453 a 642 nm** y presenta un color verde azulado.

1.2. Fotosistemas

Los fotosistemas son grandes complejos de **pigmentos fotosintéticos** y **proteínas**, situados en las **membranas de los tilacoides** donde se producirá la captación de la luz solar. Los fotosistemas están formados por:

Complejo antena: formado por proteínas, lípidos y un conjunto de distintos pigmentos fotosintéticos; estos pigmentos son los que permiten la **absorción de luz**. Captan energía luminosa del Sol, se excitan y al excitarse sus electrones pasan a niveles energéticamente superiores; estos electrones luego vuelven a su estado de reposo, **transmitiendo energía** al pigmento más cercano, hasta que esta energía acaba llegando al centro de reacción.

Centro de reacción: aquí se encuentran unos pigmentos especiales, llamados **pigmento diana**, donde van a parar todos los electrones previamente excitados. Además, presenta un **aceptor primario**, encargado de transferir los electrones del pigmento diana fuera del fotosistema y hay además un **dador primario**, encargado de reponer los electrones al pigmento diana para que así el ciclo pueda continuar.

Existen dos tipos de fotosistemas, dependiendo del tipo de pigmento diana:

FOTOSISTEMA I/ PSI: La clorofila diana es la **P700**, ya que es más sensible a las longitudes de ondas de 700 nm. Presenta como **dador** primario la **plastocianina** (electrones que provienen del fotosistema II y acaban en esta estructura) y como **aceptor** primario utiliza a una **clorofila especial (A0)**.

FOTOSISTEMA II/ PSII: La clorofila diana es la **P680**, puesto que es más susceptible a las longitudes de onda de 680nm. Usa como **dador** primario a la **molécula de agua** y como **aceptor** la **feofitina**, un complejo proteico que forma parte de la cadena transportador de electrones.

1.3. Fases de la fotosíntesis

La fotosíntesis lleva a cabo dos fases: la fase lumínica (acíclica y cíclica) y la oscura.

1.3.1. Fase lumínica

Se denomina así porque se necesita la **luz solar** para que ocurra. La planta transforma la energía solar en energía química, ya que genera **ATP** y **poder reductor (NADPH+H)**. Esta energía será empleada posteriormente en la fase oscura para sintetizar las moléculas orgánicas (glucosa).

La fase lumínica⁸ ocurre en la **membrana tilacoidal**, que es donde se encuentran los pigmentos fotosintéticos. Recordemos que los pigmentos se organizan en fotosistemas.

La fase lumínica presenta a su vez dos modalidades:

Acíclica⁹ en la que se sintetiza ATP y NADPH+ H (poder reductor).

Cíclica¹⁰ en la que solo se sintetiza ATP.

Con el conjunto de las dos modalidades, la ecuación general de la fase lumínica es la siguiente:



1.3.1.1. Fase lumínica acíclica

a) **Fotoexcitación de la clorofila:** Esta fase comienza cuando llega al **fotosistema II** (P680) un par de fotones, que son captados por el **complejo antena**. Esta energía es transmitida, por resonancia, hasta la **clorofila diana**, que posee dos electrones, los cuales, al recibir la energía, se van a elevar a un nivel energético muy alto, liberándose para llegar

⁸ Anexo 7: Ilustración de la visión general de la fase lumínica de la fotosíntesis.

⁹ Anexo 8: Ilustración de las reacciones de la fase acíclica de la fotosíntesis.

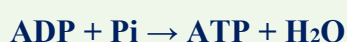
¹⁰ Anexo 9: Ilustración de la fase lumínica cíclica.

a una cadena **transportadora de electrones**, donde pierden parte de la energía al bombear **protones** del **estroma** al **espacio tilacoidal** (del exterior al interior del tilacoide).

b) **Fotólisis del agua**: Para reponer los electrones perdidos por la clorofila en el paso anterior, y que así el ciclo se pueda **repetir**, una molécula de **agua** (H₂O) se rompe, en presencia de **luz**, originando **oxígeno** (1/2 O₂), 2 **protones** (2H⁺) y 2 **electrones** (2e⁻). El átomo de oxígeno se unirá a otro átomo de oxígeno creando **oxígeno molecular** (O₂), que se libera como producto de desecho. Los protones se almacenarán en el interior del tilacoide. Por último los electrones serán donados a la clorofila.



c) **Síntesis de ATP (Fotofosforilación del ADP)**: La acumulación de protones en el espacio tilacoidal debido, por un lado, a la **fotólisis del agua** y por otro a la cadena **transportadora de electrones**, genera un **gradiente electroquímico** en el interior del tilacoide, que tiende a equilibrarse con el exterior. Esto se va a resolver con la salida de protones al estroma a través de la enzima **ATP sintetasa**, según la hipótesis **quimiosmótica de Mitchell**. Esta salida de protones junto al fósforo y ADP generará **ATP y agua**.



d) **Fotorreducción del NADP (Obtención de poder reductor)**: En esta fase se vuelve a producir una **fotoexcitación de la clorofila** en el fotosistema I (P700). Los donadores en este caso, son los electrones provenientes del fotosistema II, después de pasar por una serie de complejos proteicos. De nuevo se liberan dos electrones que acaban llegando a la **enzima NADP⁺ reductasa**. Esta enzima con ayuda de dos protones del estroma **sintetiza NADPH + H⁺** (se reduce), describiendo la siguiente ecuación:



1.3.1.2. Fase lumínica cíclica

Para que la fase oscura tenga lugar son necesarios **18 ATP** y solo **12 de NADPH⁺**; se necesita, por lo tanto, más ATP que NADPH, es por ello que existe una modalidad de la fase lumínica que tiene el fin de sintetizar más moléculas de ATP, sin crear NADPH⁺. En esta modalidad únicamente participa el **PS I**.

Cuando los fotones inciden sobre el fotosistema I, en vez de continuar hasta la NADP⁺ reductasa, son reconducidos hacia la cadena de transporte de electrones del fotosistema II

al I. En este proceso vuelve a producirse la entrada de protones al interior del tilacoide y, de nuevo, debido al **gradiente electroquímico** salen los protones del espacio tilacoidal al estroma a través de la **ATP-sintetasa**, sintetizándose **ATP**. En este caso al no llegar los electrones al **fotosistema II**, no hay una fotólisis del agua ni una fotorreducción del NADP^+ , solo **fotofosforilación del ATP**.

1.3.2. Fase oscura

Se denomina así porque no requiere luz solar. También conocida como fase **biosintética** porque utiliza el ATP y NADP^+ obtenidos en la fase luminosa para poder sintetizar materia **orgánica** a partir de la **inorgánica**. En esta fase, la enzima ribulosa-difosfato carboxilasa oxidasa (RuBisCO), se une al dióxido de carbono del aire para sintetizar compuestos orgánicos (glucosa), formados por carbono, oxígeno e hidrógeno mediante un ciclo denominado el **Ciclo de Calvin**¹¹, en el estroma del cloroplasto.

El ciclo de Calvin presenta tres etapas principales: **carboxilación o fijación del carbono**, **reducción del 3-fosfoglicerato** y **regeneración**.

2. Factores que influyen en la fotosíntesis

El rendimiento de la fotosíntesis se ve muy influido por varios factores:

Temperatura: con carácter general, a mayor temperatura, mayor tasa fotosintética. Pero el incremento de la temperatura llega a un punto, característico en cada planta, donde el rendimiento fotosintético decrece. Esta bajada en la tasa de fotosíntesis se debe a que la planta cierra los estomas cuando la temperatura es elevada, evitándose de este modo la pérdida excesiva de agua por los estomas; este fenómeno se denomina **transpiración**.

El hecho de que la planta cierre los estomas, implica que no puede captar CO_2 para la fotosíntesis; se da en este caso el fenómeno de **fotorrespiración**. En este proceso la enzima RuBisCO, en vez de unir el CO_2 a la molécula ribulosa-1,5-bifosfato, une una molécula de O_2 , desperdiciando así toda la energía química. Se podría decir que es el proceso contrario a la fotosíntesis.

Concentración de CO_2 : en líneas generales la tasa de fotosíntesis aumenta con la concentración de CO_2 , hasta que llega a un máximo.

Humedad: los movimientos de apertura y cierre de los estomas están íntimamente ligados a la humedad del ambiente. Es por ello que, si el clima es seco, los estomas tienden a

¹¹ Anexo 10: Ilustración del Ciclo de Calvin.

cerrarse, lo que impide el intercambio de gases, el oxígeno se mantiene en el interior y el CO₂ en el exterior de la planta, dando lugar a la **fotorrespiración** ya mencionada.

Concentración de O₂: el rendimiento fotosintético se ralentiza a mayores concentraciones de oxígeno en aire, debido a la **fotorrespiración**.

Luz: la luz es necesaria para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En relación con esta hay tres aspectos importantes: cantidad, color de luz y duración.

A) ***Cantidad***¹²: Cuando el resultado neto de la fotosíntesis es cero (el nivel de oxígeno producido por la fotosíntesis y utilizado en la respiración celular, es el mismo) se le denomina **punto de compensación de luz**. A partir de este punto, a mayor intensidad lumínica, mayor rendimiento fotosintético, hasta que alcanza un límite donde la curva se vuelve plana, este punto es llamado **punto de saturación de la luz**.

B) ***Color de luz/ longitud de onda***: Las plantas absorben longitudes de onda entre los 400 a 700 nm, este rango es conocido como Radiación Fotosintética Activa (**RFA**), y es muy similar a la luz visible que los humanos podemos percibir (380 a 770 nm).

- **Azul** (430 A 500 nm): En este rango el rendimiento fotosintético presenta un punto **máximo de absorción**. Va a ser la responsable del crecimiento vegetativo y de las hojas. Por ello es de vital importancia para las **fases iniciales** como la formación de nuevas hojas y/o germinación de la semilla.
- **Verde** (500 A 570 nm): Este color de luz es muy poco utilizado por la clorofila. Normalmente, lo **refleja** y es por ello que el color de las plantas y hojas se suelen caracterizar por ser verde.
- **Rojo** (630 A 770 nm): Este rango pertenece al **segundo** punto máximo de absorción de luz. Es el responsable de la regulación del florecimiento y producción de frutos y ayuda a aumentar el diámetro del tallo y estimula la ramificación.

C) ***Fotoperiodo***: Algunas plantas necesitan periodos de **oscuridad** para reponerse. Como por ejemplo el maíz que requiere de más horas de oscuridad que de luz.

¹² Anexo 11: Ilustración de la gráfica del punto de compensación de la luz y puntos de saturación.

CAPÍTULO 2: MARCO PRÁCTICO

1. Parte experimental I

1.1. Introducción e hipótesis de partida

Una vez expuesto el funcionamiento de la fotosíntesis, así como sus factores limitantes y necesidades básicas para que pueda tener lugar, procedemos a formular una hipótesis.

*“La cantidad de **oxígeno** producida por una planta durante la fotosíntesis va a depender de la **longitud de onda** suministrada, siendo el color blanco el que más oxígeno producirá seguido por el azul, rojo y por último el verde”.*

Recordemos que las cuatro longitudes de onda mencionadas se encuentran dentro del **RFA**, donde la energía puede ser utilizada por la planta. El **blanco**, al estar formada por todos los colores, es decir, abarca un rango entre 400 y 700 nanómetros de longitudes de onda, es el que más energía presenta, y además todos los pigmentos fotosintéticos, sean Clorofila A, B o carotenoides, van a poder usar esa energía para realizar la fotosíntesis y, por lo tanto, crear oxígeno. Con el color **azul**, tal y como se muestra en el gráfico (“Figura 1”) la absorción de energía por todos los pigmentos fotosintéticos es **mayor** que en el **rojo**. Es el **verde** el que **menor** absorción de energía presenta. Esto ocurre porque este color es más propenso a **reflejarse** antes de ser absorbido, por eso las plantas se caracteriza por tener este color.

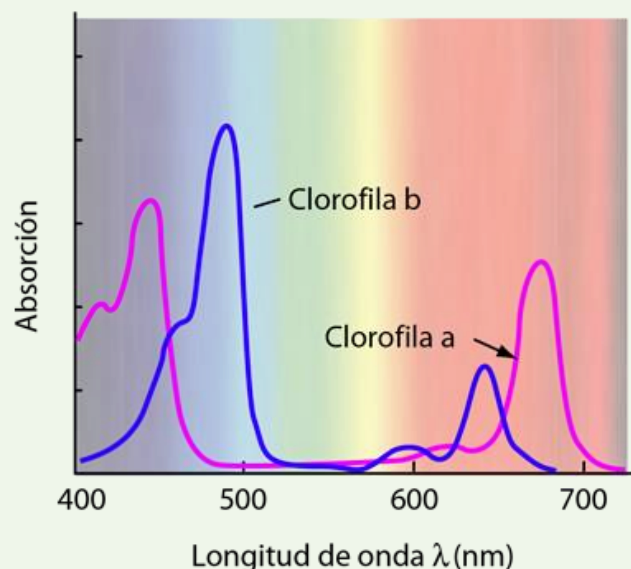


Figura 1. Absorción del espectro visible por los pigmentos fotosintéticos; clorofila a y b. (Fuente: [Light Absorption for Photosynthesis \(gsu.edu\)](http://www.gsu.edu)).

Las especies de plantas utilizadas para el experimento han sido *Epipremnum aureum* y *Scindapsus Aureus*.

Epipremnum aureum

Conocido vulgarmente como potos, pothos o potus se encuentra principalmente en las zonas tropicales de Asia y el Pacífico. Este tipo de planta es comúnmente utilizada como planta de interior porque no pueden recibir luz solar directa, ya que esta podría quemar las hojas. Es una planta epífita y perenne.



Figura 2. Taxonomía de *Epipremnum aureum* (Fuente: elaboración propia).

Scindapsus Aureus

Comúnmente conocido como geranio o geranio zonal, es una planta procedente de Sudáfrica por lo que necesita abundantes cantidades de luz directa. Son plantas perennes.



Figura 3. Taxonomía de *Scindapsus Aureus* (Fuente: elaboración propia).

1.2. Experimento fallido; resultados

Para la realización del primer experimento fueron necesarios los **siguientes materiales**. Para la construcción de la **caja hermética**: seis planchas de contrachapado¹³ (35x45x60), pegamento de madera para unir las planchas¹⁴, silicona para sellar los bordes, lija y taladro con broca para hacer dos agujeros¹⁵ para la bombilla y el medidor con sus respectivos diámetros. Cinco **plantas**¹⁶ de la especie *Epipremnum aureum* y cinco plantas de la especie

¹³ Anexo 12: Planchas de contrachapado.

¹⁴ Anexo 13: Fase del pegado del contrachapado con el pegamento de madera y silicona.

¹⁵ Anexo 14: Tapa con agujeros para la bombilla y el medidor de oxígeno.

¹⁶ Anexo 15: Plantas utilizadas de las especies *Epipremnum aureum* y *Pelargonium zonale*.

Pelargonium zonale. Como fuente de iluminación, una **luz LED**. Este tipo de luz puede producir una longitud de onda específica sin desprender calor, con posibilidad de cambiar de color e intensidad; y por último se usó un **medidor de oxígeno**¹⁷. En este caso se utilizó, Go Direct® O2 Gas Sensor de la marca **Vernier** tiene una resolución de 0.01% y mide en un rango de 0-27% (0-270 ppm).

Primero se fabricó la **caja hermética**¹⁸ con contrachapados que se selló con silicona para evitar la entrada y salida de cualquiera gas, y que así obtuviera el mayor carácter hermético posible. Luego, se realizaron dos agujeros en la tapa de la caja, en uno de ellos se introdujo la bombilla y en el otro un medidor de oxígeno.

En el interior de la caja se colocaron cinco plantas. Primero, se llevó a cabo el experimento con cinco plantas de la especie *Epipremnum aureum* y más tarde, con cinco plantas de la especie *Scindapsus Aureus*, ambas con tamaños y superficies de hojas similares.

Para este experimento se suministró la luz con **la menor intensidad** posible que la bombilla permitía, pero los datos obtenidos no fueron nada concluyentes, ya que en lugar de ir creciendo la concentración de O₂ con el tiempo, tal y como se esperaba, esta concentración **disminuía** con el paso del tiempo, tal y como se muestra en la siguiente gráfica:

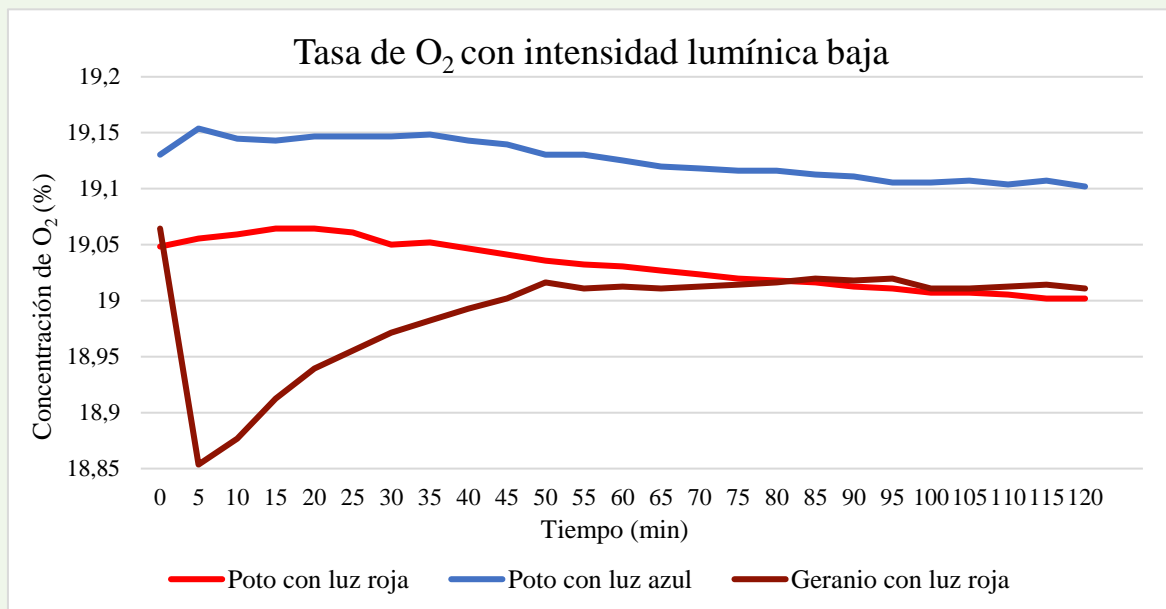


Figura 3. Gráfica con la variación de oxígeno en un rango de dos horas con intensidad lumínica mínima. (Fuente: Elaboración propia).

¹⁷ Anexo 16: Medidor de oxígeno.

¹⁸ Anexo 17: Caja hermética finalizada con el medidor de oxígeno y la bombilla.

Además, en este caso se hizo una toma de datos cada **5 minutos**, por lo que la estadística resultaba menos **precisa**. Este experimento solo se realizó con los potos usando la luz roja y azul y con el geranio usando la luz roja, ya que, al ser los datos no concluyentes, se consideró que en vez completar el experimento con los cuatro tipos de luces, se debía de revisar primero las variables y observar qué estaba fallando.

Una de las teorías para explicar por qué el experimento no resultó exitoso, fue que la intensidad lumínica no resultaba **suficiente**. Como consecuencia la energía que recibían las plantas no era lo suficiente como para alcanzar el **punto de compensación** de luz, por lo que el **oxígeno utilizado por la respiración celular era mayor que el creado en la fotosíntesis** y por ello en la tendencia del oxígeno observábamos un **decrecimiento**.

1.3. Experimento 80W durante 2 horas; resultados

En el siguiente experimento, se emplearon los mismos materiales que en el anterior, pero se aumentó la intensidad lumínica a **80 W**, la máxima permitida por la bombilla; tanto para la luz blanca, como roja, azul y verde.

Se repitió el mismo proceso, pero esta vez la toma de datos fue cada **dos minutos** durante dos horas para que de esta forma la estadística fuera más precisa. Y finalmente los resultados fueron más exitosos y concluyentes.

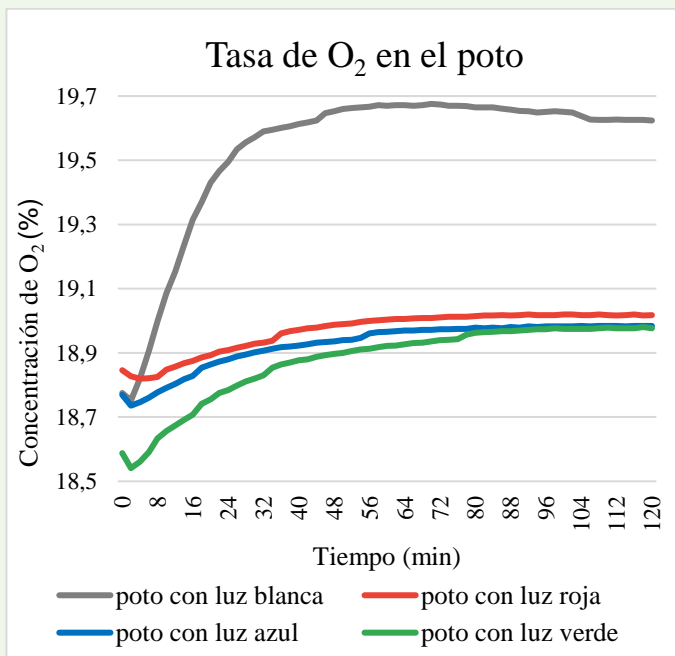


Figura 5. Variación en la concentración de oxígeno en el poto en función de las longitudes de onda con 80W de potencia. (Fuente: Elaboración propia).

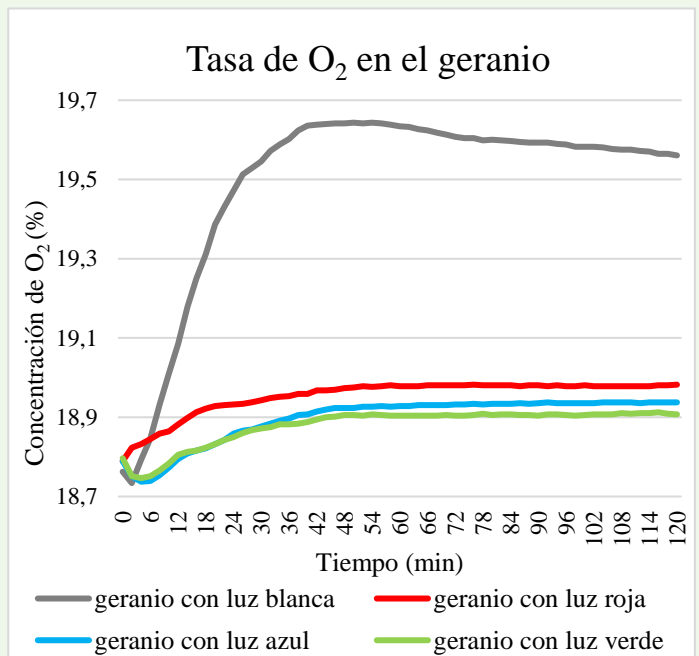


Figura 6. Variación concentración de oxígeno en el geranio en función de las longitudes de onda con 80W de potencia. (Fuente: Elaboración propia).

Y en las figuras 7 y 8, podemos observar a una menor escala los mismos datos de la figura 5 y 6, pero solo con los colores de luz roja, azul y verde, para que se aprecien más las diferencias.

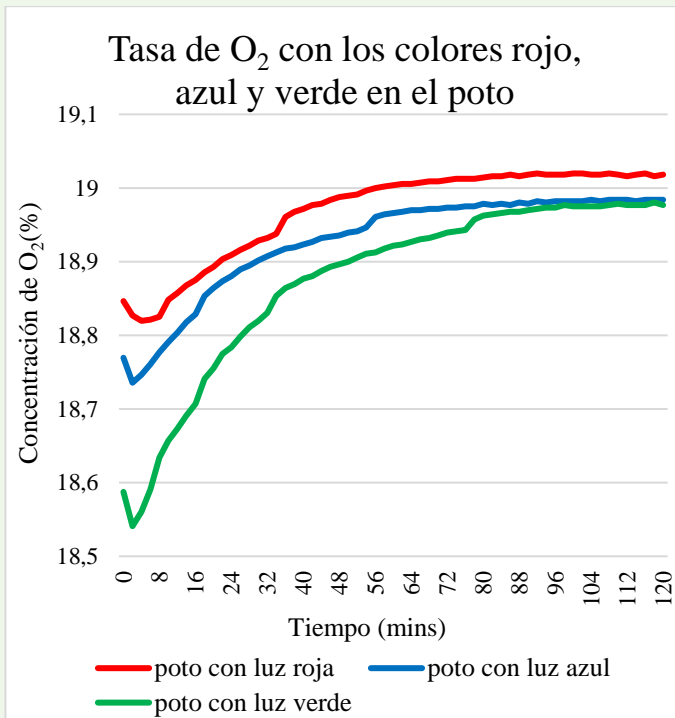


Figura 7. Variación en la concentración de oxígeno en el pote en función de las longitudes de onda rojo, azul y verde con 80W de potencia. (Fuente: Elaboración propia).

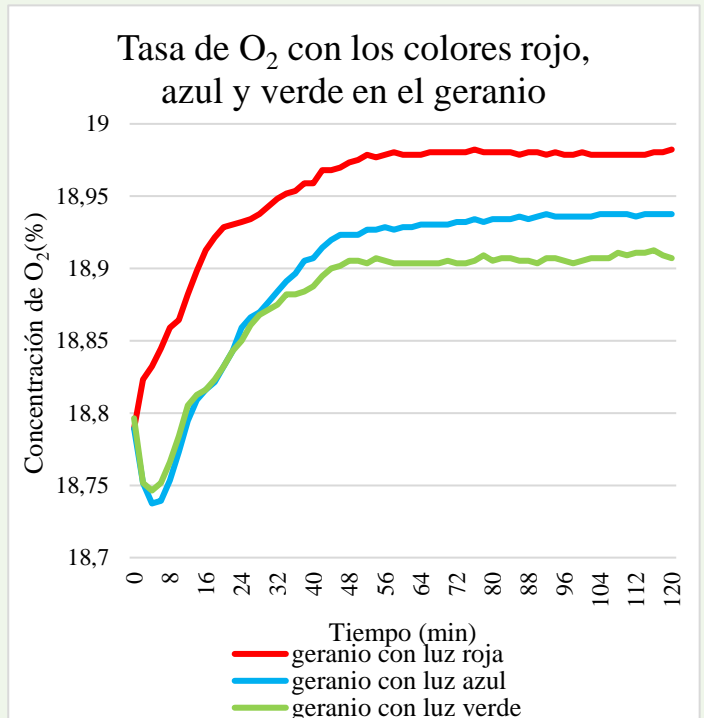


Figura 8. Variación concentración de oxígeno en el geranio en función de las longitudes de onda rojo, azul y verde con 80W de potencia. (Fuente: Elaboración propia).

1.4. Conclusiones I

Tras obtener los datos podemos afirmar que la **hipótesis inicial** es **cierta**, ya que podemos observar, tanto en potos como geranios, que hay una diferencia en la producción de oxígeno dependiendo del color de luz (longitud de onda) utilizada.

El hecho de que los resultados obtenidos no sean los esperados puede deberse simplemente al **error experimental**. Las diferencias en la producción de O₂ son tan pequeñas que no podemos deducir otro caso.

- La **luz blanca** es la que más O₂ produce, puesto que es la que más longitudes de onda engloba. Todos los pigmentos fotosintéticos podrán absorber energía.
- La luz **roja** y **azul** producen menos O₂ que la blanca, pero más que la verde. Se esperaba que la luz azul produjese más concentración de oxígeno, seguido de la roja; no obstante, los resultados en cuanto a producción de O₂ son muy similares en ambas luces, incluso opuestos a lo esperado.

- Finalmente, la luz **verde** es la que menos O₂ genera ya que como se ha mencionado anteriormente, este color tiende a reflejarse en lugar de absorberse.

En resumen, los datos obtenidos en ambas especies son muy **similares** con una incuestionable tendencia **ascendente** de la concentración de oxígeno, especialmente en los primeros **60** minutos. A partir de este tiempo, la tendencia ascendente se hace menos clara. Pudiendo llegar a pensar que es lineal, sin pendiente o incluso decreciente. Este hecho no puede ser explicado tan solo con los datos obtenidos en este experimento. Por ello se decidió plantear una **segunda hipótesis** y con ella un **segundo experimento**, con el fin de poder comprender la tendencia lineal final de la concentración de O₂.

2. Parte experimental II

2.1. Introducción y segunda hipótesis

Para poder explicar por qué la tendencia del oxígeno se estabiliza pasada una hora, se propone una segunda hipótesis, y se diseña un **experimento nuevo** para poder demostrarla. En este experimento se estudiará qué le sucede a la concentración de oxígeno, pero en un plazo más largo, concretamente en 12 horas. La hipótesis es la siguiente:

*“Al inicio la planta está muy ávida por realizar la fotosíntesis, ya que ha estado sometida a **estrés fotosintético**, por ello la generación del oxígeno aumenta rápidamente. En cambio, al alcanzar la primera hora, la planta se **estabiliza** y es entonces cuando la concentración de oxígeno aumentará, pero más lentamente”.*

El experimento planteado es similar al ya expuesto en la “Parte experimental I”, aunque con dos peculiaridades. Por un lado, solo se realizó el experimento a los potos y por otro, únicamente se suministró luz blanca y luz solar. Esto es así principalmente por dos razones:

- Solo nos interesa saber que ocurre con la concentración de O₂ transcurridas **dos** horas. Los resultados de la producción de oxígeno en función de las distintas longitudes de onda ya fueron obtenidos en la “**Parte experimental I**”.
- Se utilizó la **luz solar** como **control** del experimento. Esto quiere decir que lo utilizaremos con propósito de **compararlo** como experimento que no está sujeto a ninguna variable, que en este caso sería modificar la longitud de onda que le llega a la planta. Para poder observar el suceso si no se encontrase modificado artificialmente.

2.2. Experimento 80 W durante 12 horas; resultados

Se tomaron los datos durante **12 horas** cada **30 minutos** y se obtuvo el siguiente gráfico:

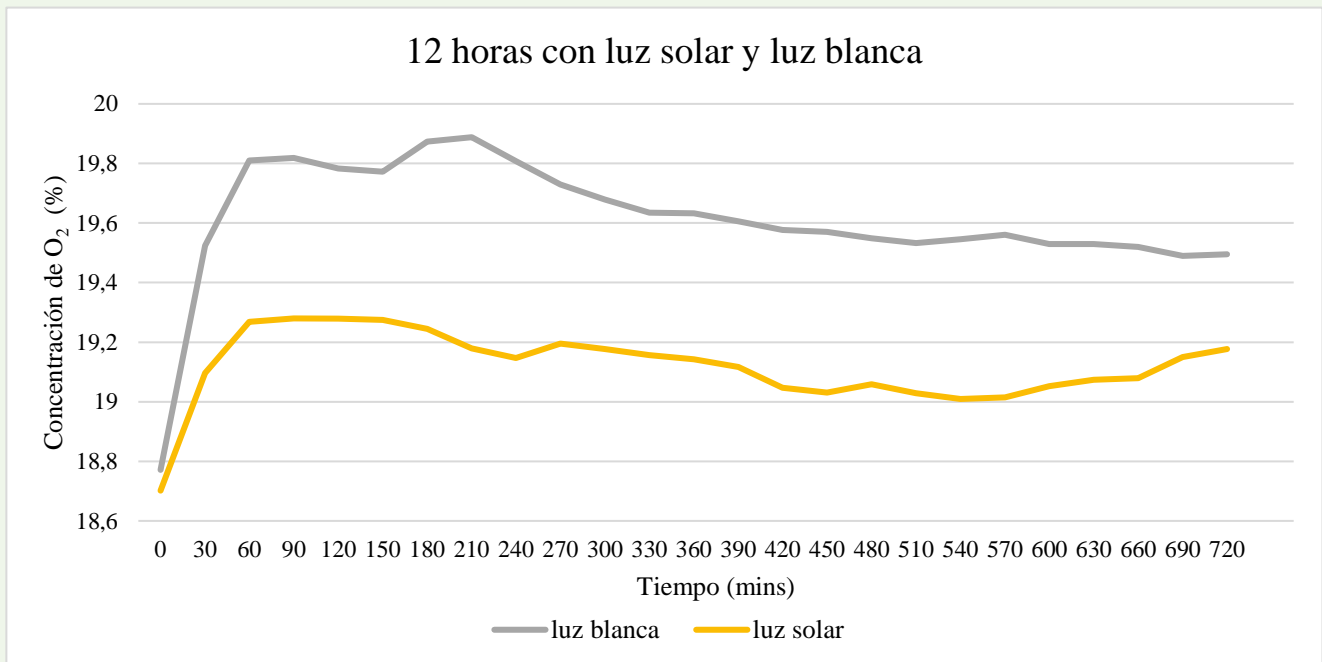


Figura 9. Gráfico con la variación de la concentración de oxígeno en 12 horas con luz solar y blanca. (Fuente: Elaboración propia).

2.3. Conclusiones II

Tal y como ya sabíamos por los experimentos de la “Parte experimental I” la concentración de oxígeno aumenta bruscamente en la primera hora, no obstante, la segunda hipótesis de partida es **incorrecta**. Se esperaba que la concentración de O₂ siguiese aumentando, aunque a un ritmo menor, puesto que como se ha dicho, el balance de producción de O₂ en plantas es positivo, es decir, generan más oxígeno por fotosíntesis del que consumen en la respiración. Los resultados obtenidos en esta segunda parte experimental parecen ser **anómalos**, por tanto, ya que la concentración de oxígeno comienza a **bajar** transcurrida una hora desde que comienza la medición.

No obstante, se ha podido encontrar una explicación a esta aparente anomalía: la planta está realizando el proceso de **fotorrespiración** en lugar de la fotosíntesis.

- Al encontrarse las plantas encerradas en la caja, y durante un periodo tan largo de tiempo, la temperatura dentro la de caja aumenta. Este se traduce en el cierre de estomas, que son las estructuras de las plantas encargadas de permitir el intercambio de gases. De este modo la planta evita la pérdida de agua a través de los estomas. Por ello el oxígeno producido por la fotosíntesis se quedará dentro de la planta y el CO₂, fuera. Como consecuencia se produce la **fotorrespiración**. La enzima RUBISCO, al

no encontrar moléculas de CO_2 , se ve obligada a enlazarse con el **oxígeno**, esto supone un **decrecimiento** en el nivel de oxígeno, puesto que la planta no está llevando a cabo la fotosíntesis, sino la fotorrespiración.

- Por otro lado, como durante la primera hora, la concentración de oxígeno **aumenta** rápidamente, la planta tendrá disponible poco CO_2 y mucho O_2 ; esto propiciará también que la planta realice la fotorrespiración en lugar de la fotosíntesis, ya que la enzima RuBisCo se ve obligada a actuar con el oxígeno.

Un dato curioso del experimento es que la concentración de oxígeno era significativamente mayor con la luz blanca artificial en vez de la luz solar. Esto se explica porque la **intensidad** de la luz blanca era bastante más que la luz solar. Las causas por las que la intensidad de luz artificial fue mayor que la natural fueron dos:

- La primera es que los potos no pueden recibir luz solar **directa**, ya que esta quema las hojas, por ello se tuvo que mantener dentro de una casa, con una reducción significativa de la intensidad.
- Y la segunda es debido a que no recibía luz solar por todos lados sino solo por la tapa, tal y como se muestra en la imagen:



Figura 10. Caja hermética modificada para permitir la entrada de luz solar. (Fuente: Elaboración propia).

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Como ampliación / mejora a este proyecto se sugieren las siguientes investigaciones:

- Estudio del impacto de las longitudes de onda en plantas acuáticas, para ver el efecto del agua en la luz.
- Repetir los experimentos realizados, pero midiendo la temperatura de modo simultáneo a la concentración de O₂ y la concentración de CO₂.
- Realizar el experimento con más luces de colores, es decir con distintas longitudes de onda, incluso con las que se encuentran fuera del espectro visible.
- Realizar el experimento con el control de la luz solar, pero procurando que la intensidad de luz solar que reciba sea similar a la potencia suministrada con la luz artificial.

BIBLIOGRAFÍA

- 3.2. *Fases oscura de la fotosíntesis*. (5 de Enero de 2021). Recuperado el Junio de 2021, de Junta de Andalucía: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/18009389/moodle2/pluginfile.php/524/mod_resource/content/1/Cloroplastos/32_fases_oscura_de_la_fotosntesis.html
- Alonso, R. G. (7 de Julio de 2018). *La Fotosíntesis, Guía Completa: ¿Qué es y cómo se produce? ¿En que nos beneficia?* Recuperado el 9 de Septiembre de 2021, de Sembrar100: <https://www.sembrar100.com/fotosintesis/>
- BELLOSO, A. G. (2013). *TEMA 15. EL ANABOLISMO*. Recuperado el 29 de Agosto de 2021, de IES FERNANDO DE MENA: <http://ies-fernando-de-mena.centros.castillalamancha.es/sites/ies-fernando-de-mena.centros.castillalamancha.es/files/descargas/TEMA%2015%20el%20anabolismo.pdf>
- Briceño, K. (16 de diciembre de 2020). *Pigmentos fotosintéticos: características y tipos principales*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de Lifeder: <https://www.lifeder.com/pigmentos-fotosinteticos/>
- Carril, E. P.-U. (2009). *Fotosíntesis: Aspectos Básicos*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de Reduca: https://eprints.ucm.es/id/eprint/9233/1/Fisiologia_Vegetal_Aspectos_basicos.pdf
- Chacón, J. Y. (30 de Marzo de 2020). *Epipremnum aureum: características, hábitat, cultivo, cuidados*. Recuperado el 4 de septiembre de 2021, de lifeder: <https://www.lifeder.com/epipremnum-aureum/>
- Cloroplastos. Funciones*. (26 de Diciembre de 2014). Recuperado el 11 de Junio de 2021, de asturnatura: <https://www.asturnatura.com/articulos/organulos-energeticos/cloroplasto-funciones.php>
- Criado, M. Á. (8 de Noviembre de 2016). *Las emisiones de CO₂ aceleran la fotosíntesis de las plantas*. Recuperado el 2021, de El País: https://elpais.com/elpais/2016/11/08/ciencia/1478597545_261165.html [1]
- El Ciclo de Calvin*. (2 de Noviembre de 2015). Recuperado el 29 de Junio de 2021, de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/calvin-cycle>
- Etecé, E. (15 de Julio de 2021). *Luz - Concepto, fenómenos, propagación, tipos y características*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2021, de concepto: <https://concepto.de/luz/>
- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOSÍNTESIS. Rendimiento de la Fotosíntesis*. (10 de Noviembre de 2016). Recuperado el 5 de Junio de 2021, de efi-ciencia red: <https://www.youtube.com/watch?v=prbtLsKHRPM>
- Fisiología Vegetal*. (4 de Octubre de 2015). Recuperado el 29 de Agosto de 2021, de Wikiversidad: https://es.wikiversity.org/wiki/Fisiologia_vegetal
- FOTOSÍNTEIS-I. Pigmentos y Fotosistemas. Antena y Centro de Reacción*. (5 de Septiembre de 2016). Recuperado el 6 de Junio de 2021, de efi-ciencia red: <https://www.youtube.com/watch?v=xpLDvxCMv30>

FOTOSÍNTESIS II. Fase Lumínica Cadena Acíclica y cíclica de electrones. (19 de Septiembre de 2016). Recuperado el 5 de Junio de 2021, de efi-ciencia red: <https://www.youtube.com/watch?v=BQDHk4jax7E>

FOTOSÍNTESIS III. Fase Oscura: Ciclo de Calvin (Vía C3). Rubisco. (6 de Octubre de 2016). Recuperado el 5 de Junio de 2021, de efi-ciencia red: <https://www.youtube.com/watch?v=4mxJn7XgfOA>

FOTOSÍNTESIS-IV. Resumen de la Fotosíntesis. Ecuación Global. (20 de Octubre de 2016). Recuperado el 5 de Junio de 2021, de efi-ciencia red: <https://www.youtube.com/watch?v=UbqWI5EzJCE>

Foxford, H., & Shirazi, S. (2016). *Biology- AQA GCSE (9-1)*. London Bridge Street: Collins.

Gelambi, M. (2 de octubre de 2018). *Fotosíntesis: proceso, organismos, tipos, factores y funciones*. Recuperado el 9 de Junio de 2021, de Lifereder: <https://www.lifereder.com/fotosintesis/>

Geranios, características y cuidados. (9 de Junio de 2015). Recuperado el 4 de Octubre de 2021, de Jardinatis: <https://www.hogarmania.com/jardineria/fichas/plantas/geranio-5123.html>

Hernández, M. S. (12 de Enero de 2014). *Práctica de laboratorio la fotosíntesis*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa2/n1/p1.html>

Introducción a la fotosíntesis. (2 de Noviembre de 2015). Recuperado el 9 de Junio de 2021, de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>

iWonder. (11 de Junio de 2016). *Qué es y cómo te afecta la radiación electromagnética*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de BBC News: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36491233>

Jotage, C. (16 de Diciembre de 2018). *Novios Pelargonium zonale*. Recuperado el 4 de octubre de 2021, de Naturalista: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/78382-Pelargonium-zonale>

La Fotosíntesis. (9 de Enero de 2009). Recuperado el 1 de Junio de 2021, de IES Río Cabe: http://www.edu.xunta.gal/centros/iesriocabe/system/files/u1/T_205_Fotos__ntesis.pdf

La luz: ondas electromagnéticas, espectro electromagnético y fotones. (26 de Septiembre de 2016). Recuperado el 1 de Junio de 2021, de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

Las reacciones dependientes de la luz. (1 de Junio de 2017). Recuperado el 27 de Junio de 2021, de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/light-dependent-reactions>

Leskow, E. C. (27 de Octubre de 2020). *Espectro Visible - Qué es, longitud de onda y colores*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de concepto.de.: <https://concepto.de/espectro-visible/>

Lopez, J. C. (28 de Abril de 2021). *La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo*. Recuperado el 2021 de Agosto de 9, de PROMIX: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>

- Lunar, R. B. (12 de Mayo de 2015). *¿Qué efecto tiene el color de la luz que se le suministra a una planta Impatiens walleriana sobre su tasa de fotosíntesis?* Recuperado el 9 de Junio de 2021, de Vox Populi: http://iesrosachacel.net/vox_populi_digital/XXVIII/paginas/3.php
- Luz y pigmentos fotosintéticos.* (2 de Noviembre de 2015). Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments#:~:text=clorofilas%20y%20carotenoides.-,Clorofila,son%20los%20principales%20pigmentos%20fotosint%C3%A9t>
- MXfluity. (11 de Junio de 2014). *P-45 En la fase luminosa de la fotosíntesis, el objetivo más importante de este proceso es ...* Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de BANCO DE PREGUNTAS DE BIOLOGÍA: <http://biologia-test.blogspot.com/2014/06/p-45-en-la-fase-luminosa-de-la.html>
- NADPH.* (12 de Octubre de 2007). Recuperado el 1 de Junio de 2021, de Quimica.es: <https://www.quimica.es/enciclopedia/NADPH.html>
- Nave, M. O. (17 de Julio de 2013). *Absorción de la Luz en la Fotosíntesis.* Recuperado el 20 de Junio de 2021, de HyperPhysicsBiología: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Biology/ligabs.html>
- Nave, M. O. (7 de Julio de 2013). *Pigments for Photosynthesis.* Recuperado el 30 de Agosto de 2021, de HyperPhysicsBiología: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Biology/pigpho.html>
- PASSel. (13 de Octubre de 2007). *Los Pigmentos Vegetales y la Fotosíntesis.* Recuperado el 30 de Mayo de 2021, de Plant & Soil Sciences eLibrary: <https://passel2.unl.edu/view/lesson/ae42848963d4/3>
- Peduzzi, P. (11 de Mayo de 2020). *El mundo registra concentración récord de dióxido de carbono a pesar de la COVID-19.* Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de ONU: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-mundo-registra-concentracion-record-de-dioxido-de-carbono-pesar>
- Ramírez, R. A. (3 de Octubre de 2011). *Fotosíntesis.* Recuperado el 9 de Junio de 2021, de monografias.com: <https://www.monografias.com/trabajos88/la-fotosintesis-agronomia/la-fotosintesis-agronomia.shtml>
- Seeds, S. (12 de Diciembre de 2019). *Fotosíntesis: ¿Qué Ocurre Durante la Fase Luminosa?* Recuperado el 6 de Junio de 2021, de Sensi Seeds: <https://sensiseeds.com/es/blog/fotosintesis-que-ocurre-durante-la-fase-luminosa/>
- Seeds, S. (29 de Agosto de 2020). *Fotosíntesis: ¿Qué Ocurre Durante la Fase Oscura y la Fotorrespiración?* Recuperado el 6 de Junio de 2021, de Sensi Seeds: <https://sensiseeds.com/es/blog/fotosintesis-que-ocurre-durante-la-fase-oscura-y-la-fotorrespiracion/>
- Significado de Luz (Qué es, Concepto y Definición).* (29 de Marzo de 2021). Recuperado el 2021 de Septiembre de 2021, de Significados.com: <https://www.significados.com/luz/>
- Stockley, C. (2018). En *The Usborne illustrated dictionary of science* (pág. 381). Saffron Hill, London, England: Usborne.