

**INTERACCIÓN DE LA LUZ, EL AGUA Y LOS CLOROPLASTOS EN LA
PRODUCCIÓN DE OXÍGENO**

NICOLÁS RAMÓN AGUILAR TOLEDO

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ – COLOMBIA**

2024

**INTERACCIÓN DE LA LUZ, EL AGUA Y LOS CLOROPLASTOS EN LA
PRODUCCIÓN DE OXÍGENO**

**Trabajo de grado para optar por el título de: Magíster en Docencia de las Ciencias
Naturales**

NICOLÁS RAMÓN AGUILAR TOLEDO

Asesores:

JUAN ALBERTO ALDANA GONZÁLEZ

ANDREA ROCIO TOLEDO ARANDA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ – COLOMBIA**

2024

“Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría: en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores e investigadores, he dado los respectivos créditos”

Agradecimientos

A Dios todo poderoso, fuente de toda gracia y fortaleza, por haberme guiado en cada paso de este camino académico. Por su luz y protección, que me han permitido superar los desafíos y alcanzar esta meta.

A mis padres, por su incondicional apoyo, por ser mi pilar durante todo este proceso y por su constante aliento. Su amor y confianza en mí han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A mis asesores, Juan Alberto Aldana González y Andrea Rocío Toledo Aranda, por su dedicación y paciencia, por compartir sus conocimientos y brindar orientación en todo momento. Su guía ha sido propulsor para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento personal y académico.

A todos los maestros MDCN, por los aportes intelectuales, dedicación y la excelencia educativa.

A mis compañeros, les agradezco por su compañerismo y el intercambio de ideas. Juntos hemos compartido retos y aprendizajes, y su apoyo ha sido valioso en este recorrido.

A este hermoso país de Colombia, tierra que me ha brindado la oportunidad de crecer, aprender y desarrollarme tanto académica como personalmente.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
Capítulo I Contexto Problemático	13
1.1 Delimitación del problema	17
1.2 Pregunta problema.....	18
1.3 Objetivo General.....	19
1.4 Objetivos Específicos:	19
1.5 Antecedentes.....	20
1.6 Justificación	22
CAPÍTULO II. Proceder Metodológico	24
CAPÍTULO III Estudio Histórico	27
3.1 Contexto histórico	27
3.2 Estudio histórico crítico.....	31
3.2.1 Experiencias de Jan Ingenhousz.....	34
3.2.2 Experiencias de Jean Senebier.....	42
3.3 Algunas reflexiones a partir de los análisis	48
Contribuciones a partir de los aportes de los trabajos de Ingenhousz.....	51
3.4 Indagación sobre la luz y los pigmentos.....	54
CAPÍTULO IV Actividades Experimentales	58

4.1 Análisis de la Experimentación	70
Procedimiento para la Cromatografía:.....	76
CAPÍTULO V Propuesta de Intervención de Aula.....	82
5.1 Contexto de Formulación de la Propuesta de Aula.....	82
Fase 1: El Desafío de la Luz y la Oscuridad (Semanas 1-2)	84
Fase 2: Aproximación al contexto histórico y conceptual sobre el fenómeno de la fotosíntesis (Semanas 3-4).....	85
Fase 3: Expo ciencias: Divulgación del misterio (Semanas 5-6)	85
5.2 Organización de la Propuesta de Aula: Detectives de la Luz “El Misterio de la Producción de Oxígeno”.....	87
CAPÍTULO VI Producción Discursiva	92
6.1 Recomendaciones	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXO	105

Índice de Ilustración

Ilustración 1. Representación de los experimentos de Ingenhouzs, en el recipiente de la izquierda las hojas verdes sumergidas en agua en presencia de luz solar produciendo oxígeno, en la del medio en la oscuridad sin generar suficiente oxígeno y en la derecha con raíces y tallos en presencia de la luz produce en poca cantidad.	36
Ilustración 2. La primera imagen es el dibujo del montaje real utiliza y la segunda imagen equivalente con materiales actuales. Gracias a este sistema, Senebier estudió por primera vez la influencia de la luz en la producción de oxígeno.	47
Ilustración 3. Representación gráfica de luz en las clorofilas A y B y los carotenos .. ¡Error!	
Marcador no definido.	
Ilustración 4. Modelo del montaje experimental con la planta Elodea. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 5. Primera observación, se puede evidenciar las diferentes longitudes de onda.	62
Ilustración 6. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Segundo control.....	63
Ilustración 7. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Tercer control.....	64
Ilustración 8. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Cuarto control.....	66
Ilustración 9. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Quinto control.....	67

Ilustración 10. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Séptimo control.	68
Ilustración 11. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. El análisis en el siguiente punto.	69
Ilustración 12. Las referencias descritas con las letras “a” corresponden a las clorofilas A, “b” a las clorofilas B, “c” a los carotenoides y “x” a las xantofilas, según las coloraciones observadas en el papel cromatográfico. Las manchas de color verde oscuro representan a las clorofilas A, las de color verde claro corresponden a las clorofilas B, las manchas naranjas a los carotenoides y las manchas amarillas a las xantofilas.	77

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de cromatografía.	78
Tabla 2. Ruta de la propuesta de intervención de aula.	87

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado surge como una respuesta a los desafíos que presenta la enseñanza de la fotosíntesis en el aula. A partir de las inquietudes surgidas en los seminarios de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional, y mediante una constante reflexión disciplinar y pedagógica, se estructuró este estudio. Para iniciar, se realiza un análisis de las fuentes primarias de los siglos XVII y XVIII, particularmente de algunos científicos que estudiaron elementos relacionados con los pigmentos, el agua y la producción de oxígeno durante el proceso que denominamos fotosíntesis; posteriormente a partir este análisis, se desarrollan actividades experimentales que propenden por profundizar en las comprensiones alcanzadas sobre los elementos antes mencionados.

El trabajo de grado está estructurado en seis capítulos que abordan el problema desde las perspectivas histórica-experimental y pedagógica. En primer lugar, se presenta el análisis del contexto problemático. A continuación, se detallan el proceder metodológico, un estudio histórico-crítico, el desarrollo experimental, la propuesta de aula y, finalmente, el capítulo de producción discursiva.

En el primer capítulo, se presenta el problema central de la investigación: la dificultad para enseñar la fotosíntesis y, en particular, en las dificultades al momento de explicar los mecanismos mediante los cuales las plantas producen oxígeno. Así mismo, se exploran las barreras pedagógicas que enfrenta tanto el maestro como estudiantes, lo cual conduce a la formulación de los objetivos que guían este trabajo de profundización.

En el segundo capítulo se aborda el proceder metodológico el cual se centra en tres pilares, los referentes históricos, la actividad experimental y la propuesta pedagógica. Desde la

revisión de autores como Ingenhouz y Senebier, se establen conexiones entre sus estudios y la enseñanza actual de la fotosíntesis, lo que proporciona una base para el desarrollo del enfoque pedagógico de este trabajo.

Posteriormente, el tercer capítulo aborda un análisis histórico-crítico de algunas publicaciones relacionados con la fotosíntesis, desde los estudios de Ingenhouz y Senebier. Los diálogos desde sus perspectivas y experimentos que han permitido comprender las primeras relaciones entre la luz, el agua y las estructuras de las plantas para la producción de oxígeno.

El cuarto capítulo se centra en las actividades experimentales aplicadas durante la profundización. En estas actividades, se utilizó la planta Elodea, la cual fue sometida a diferentes condiciones lumínicas para observar cómo la luz y el agua interactúan con los cloroplastos en la producción de oxígeno. Este capítulo describe los procedimientos experimentales, las variables estudiadas y el análisis de los resultados, ofreciendo una perspectiva sobre el proceso fotosintético bajo condiciones controladas.

A partir de las actividades experimentales y del marco histórico, el quinto capítulo presenta una propuesta de aula titulada “Detectives de la Luz, El Misterio de la Producción de Oxígeno”, diseñada para estudiantes del primer curso del nivel medio. La propuesta se enfoca en la aplicación de actividades, permitiendo a los estudiantes participar activamente en el desarrollo de comprensiones sobre el proceso de la fotosíntesis, vinculándolos en la estructura de la propuesta, en las actividades, las discusiones y reflexiones.

Finalmente, el sexto capítulo incluye una serie de reflexiones sobre el proceso de profundización sobre la fotosíntesis. Se discuten las implicaciones pedagógicas de los

hallazgos, así como las oportunidades y desafíos para implementar la propuesta en el aula. Además, se ofrecen recomendaciones para futuros abordajes y prácticas educativas que busquen mejorar la comprensión de la fotosíntesis a través de otros elementos experimentales y didácticos.

Capítulo I Contexto Problemático

A lo largo del tiempo, la fotosíntesis ha sido vista como uno de los procesos naturales más complejos, tratándose desde la biología, aspectos químicos y también físicos. Este proceso involucra una serie de interacciones a nivel celular dentro de las plantas, cuyo entendimiento se vuelve particularmente abstracto y desafiante en el aula. A esto se suma la falta de herramientas adecuadas, tanto en términos conceptuales como experimentales, lo que dificulta una aproximación a la comprensión. Además, la fotosíntesis abarca conceptos científicos complejos que no coinciden con el saber común en el desarrollo de clase. Esto presiona al maestro a recurrir a simplificaciones, reduciendo el fenómeno a una definición vaga, es decir, deja de lado la complejidad del fenómeno, que es un conjunto de procesos interrelacionados que van más allá de la simple producción de oxígeno y glucosa, que, al ser presentado así, se convierte en un concepto desarticulado y difícil de conectar para ser objeto de aprendizaje.

Durante la experiencia como estudiante, la fotosíntesis me fue enseñada de una manera estrictamente teórica sistemática, presentándose como un proceso mecánico: las plantas absorben luz, agua y dióxido de carbono, y como resultado, producen oxígeno y glucosa. Este enfoque se limitaba a la memorización de definiciones y fórmulas, y, en consecuencia, fallaba en fomentar una comprensión del proceso fotosintético, haciendo que el fenómeno se percibiera como unos contenidos a memorizar y no como un objeto de conocimiento para el aprendizaje.

La experiencia como docente ha revelado que la forma en que se aborda este proceso, particularmente con la relación y producción de oxígeno, se queda frecuentemente en lo

memorístico, sin lograr que los estudiantes del primer curso del nivel medio adquieran la comprensión que necesitan. Por lo tanto, estas dificultades llevaron al autor a reflexionar sobre las metodologías utilizadas y a proponer nuevas alternativas, basadas en un enfoque histórico-crítico y experimental, que buscan superar las limitaciones de la enseñanza tradicional.

Esta problemática se vincula con las políticas públicas de Paraguay porque la enseñanza de la fotosíntesis, según los lineamientos establecidos, se encuentra dentro del área de las ciencias naturales, la cual exige que el maestro enseñe a los estudiantes los procesos biológicos, entre ellos la fotosíntesis y en particular la producción de oxígeno. Sin embargo, el enfoque tradicional utilizado, que tiende a ser mayormente teórico, no responde adecuadamente a los objetivos del currículo, el cual se busca que se desarrollen las competencias en relación a los fenómenos naturales.

El currículo paraguayo destaca la importancia de fomentar el pensamiento crítico, la capacidad de análisis y la resolución de problemas, que difícilmente se logran con la memorización mecánica de términos y definiciones. La falta de un enfoque experimental y de metodologías que promuevan una comprensión de la fotosíntesis no solo dificulta que los estudiantes relacionen el contenido con el fenómeno, sino que también contrapone los principios curriculares que promueven su enseñanza. Por lo tanto, la necesidad de replantear la enseñanza de la fotosíntesis mediante elementos históricos y experimentales no solo responde a una reflexión personal, sino también a la urgencia de alinear con los principios y objetivos del currículo paraguayo.

Las dificultades señaladas, invitan a una reflexión sobre la relación del autor con el fenómeno de la fotosíntesis, que abarca desde su comprensión inicial del proceso, hasta la exploración de la interacción entre los elementos como la luz, el agua y los cloroplastos en los organismos vegetales. A raíz de esto, surgen preguntas en torno a la producción de oxígeno durante el proceso de la fotosíntesis, como: ¿Qué factores históricos y experimentales contribuyeron al desarrollo del concepto de fotosíntesis? En este sentido, el diálogo reflexivo no solo surge de las dificultades del docente, sino también del contraste entre la experiencia en la enseñanza y el fenómeno en estudio.

Desde este punto de vista, la implementación de actividades experimentales se constituye en el pilar central, facilitando un cambio en la comprensión del maestro sobre la fotosíntesis y en las estrategias utilizadas para su enseñanza. No obstante, para profundizar en esta comprensión, es necesario recurrir a las contribuciones de fuentes primarias como Jan Ingenhousz y Jean Senebier, cuyas aportaciones históricas sobre la fotosíntesis ofrecen un marco valioso para analizar la interacción entre la luz y el agua en el proceso de la fotosíntesis. Estas fuentes primarias permiten situar el fenómeno en un contexto de profundización más amplio, y al mismo tiempo, fortalecer las prácticas pedagógicas a través de un enfoque histórico-experimental que conecta directamente con las reflexiones y acciones desarrolladas en el aula.

A partir de este diálogo con los referentes históricos, surgen preguntas que trascienden de lo estrictamente teórico y encuentran eco en la práctica educativa, ¿Cómo interactúan la luz, el agua y los cloroplastos en el proceso de la producción de oxígeno? ¿De qué manera se puede profundizar en las explicaciones del maestro y por ende en las estrategias que utiliza en el aula para que los estudiantes comprendan este fenómeno?

Los elementos expuestos en este apartado destacan las razones por las que la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos en la producción de oxígeno sea el interés central en este trabajo de profundización. Esto ha propiciado espacios de discusión y reflexión que serán abordados a lo largo del trabajo.

En síntesis, se considera que la falta de un enfoque experimental en el marco de la práctica sobre la enseñanza de la fotosíntesis también refleja un problema más amplio en la educación científica: la desconexión entre el conocimiento teórico y la actividad experimental. En este trabajo, se reconoce la importancia de las actividades experimentales en el aula, mismas que muchas veces son relegadas a un segundo plano, reduciéndose a ejercicios demostrativos en los que no se les permiten a los estudiantes participar activamente en el proceso de construcción de explicaciones y argumentos en torno al fenómeno. Por otro lado, el desconocimiento del contexto histórico de conceptos científicos limita la posibilidad del docente para presentar la ciencia como un proceso dinámico y en constante evolución lo cual puede dificultar, no solo la comprensión de fenómenos como la fotosíntesis, sino que también puede opacar el interés de los estudiantes por explorar la ciencia como actividad en constante movimiento.

1.1 Delimitación del problema

La enseñanza de fenómenos como la fotosíntesis está generalmente influenciada por diversos factores que afectan en la comprensión por parte de los estudiantes. Uno de los principales desafíos a los que se enfrenta el docente es la manera en que conceptualiza y enseña procesos complejos, como la producción de oxígeno, la cual depende de la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos. A pesar de la relevancia de este fenómeno, la enseñanza suele reducirse a explicaciones simplificadas y desfasadas que no reflejan adecuadamente su complejidad.

Desde la experiencia docente, se ha observado que la fotosíntesis se presenta a menudo como un proceso mecánico y lineal: las plantas absorben luz, nutrientes del suelo, agua y dióxido de carbono y como resultado producen oxígeno. Esta situación genera la necesidad de repensar cómo se está abordando la fotosíntesis, en la producción de oxígeno, para que los estudiantes puedan comprender las interacciones involucradas. La dependencia excesiva de definiciones y modelos teóricos ha resultado insuficiente para cumplir con los estándares educativos, que buscan fomentar el pensamiento crítico y la capacidad de analizar fenómenos naturales.

Una posibilidad para cambiar estas prácticas es la profundización disciplinar, que se organiza a partir de un ejercicio de documentación histórico crítico, desde el cual se cuestiona la visión simplificada que presenta la fotosíntesis únicamente para la producción de oxígeno. Este enfoque permite entender el proceso fotosintético como un fenómeno complejo que ha sido abordado a lo largo de los últimos tres siglos, destacando la interacción entre la luz, el agua y las estructuras celulares especializadas como los cloroplastos.

En este sentido, se ha identificado la necesidad de adoptar una profundización que incorpore elementos históricos y experimentales en la enseñanza de la fotosíntesis. Bajo esta idea, las condiciones naturales y experimentales en las que se produce oxígeno mediante la fotosíntesis plantean retos para los docentes y estudiantes en términos de la comprensión de este fenómeno; estos retos pueden estar relacionados con la desarticulación de elementos teóricos y estructurantes propios del fenómeno, como los cloroplastos, la luz y el agua o el mismo desconocimiento de los procesos histórico y experimentales fundamentales en su abordaje.

Con esta delimitación, este trabajo se presenta como un aporte a los estudios histórico-experimentales sobre la fotosíntesis que permita, tanto a maestros como estudiantes, aproximarse a elementos de orden teórico, experimental e histórico en torno a la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos en la producción y transformación del oxígeno.

1.2 Pregunta problema

¿Cómo los estudios histórico-experimentales contribuyen a la comprensión de la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos para la producción de oxígeno durante el proceso de fotosíntesis?

1.3 Objetivo General

Construir explicaciones en torno a las interacciones entre la luz, el agua y los cloroplastos de las hojas para la producción de oxígeno en las plantas, teniendo en cuenta elementos histórico-experimentales que posibiliten su enseñanza en las ciencias naturales.

1.4 Objetivos Específicos:

- 1.4.1 Realizar un estudio histórico crítico considerando los trabajos de Jan Ingenhouz y Jean Senebier que incluya los aportes teórico-conceptuales y experimentales de estudios relacionados con la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos para la producción de oxígeno.
- 1.4.2 Desarrollar actividades experimentales que posibiliten el análisis de las condiciones luz, agua y estructuras como los cloroplastos de las hojas en la producción de oxígeno por la planta Elodea, bajo condiciones experimentales controladas de luz y agua.
- 1.4.3 Diseñar una propuesta de aula para la enseñanza de la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos en la fotosíntesis para la producción de oxígeno por las plantas.

1.5 Antecedentes

De acuerdo con lo planteado en el presente trabajo de profundización, se hace propicio indagar sobre los efectos de la luz y el agua en la producción de oxígeno en las plantas, teniendo en cuenta elementos naturales, que, en constante interacción logran incidir en los procesos de transformación de las sustancias, por ejemplo, en la producción de oxígeno.

En este orden de ideas, con el propósito de ampliar el contexto problematizador que sustenta la profundización, es necesario revisar antecedentes teóricos y conceptuales que permitan reforzar los planteamientos y objetivos que sustentan el trabajo. De esta forma, autores como (Gantiva et al, 2020), en el análisis “*Efecto de la interacción luz-agua sobre la fotosíntesis de la Vainilla planifolia (Orchidaceae)*”, determinaron cómo la cantidad y calidad de luz y el agua inciden en diferentes procesos que desarrolla la hoja y la planta. Aunque este estudio se centró en el rendimiento fotosintético, sus hallazgos muestran que la producción de oxígeno puede variar significativamente según el tipo de luz a la que se expone. El análisis revela que, incluso en diferentes momentos del día, la luz solar influye en la tasa fotosintética y la cantidad de oxígeno liberado.

Este estudio contemporáneo, proporciona una visión más detallada sobre este fenómeno. Mientras que Ingenhouz (1779) y Senebier (1788) establecieron elementos básicos de que la luz es necesaria para la producción de oxígeno, Gantiva et al. (2020) profundiza en diferentes calidades de la luz y su relación con el proceso de la fotosíntesis.

En la investigación reseñada, los autores establecieron un proceso experimental en donde se tomaron cinco plantas expuestas a la luz solar del final del día (hora 17:45 a 18:30) y del mismo modo, al inicio de la luz solar del día (hora 5:30 a 6:30). Los resultados de este proceso

experimental evidenciaron las diferencias en los procesos fisiológicos y del desarrollo de la planta de vainilla, en relación a los efectos de la luz en los horarios predispuestos (Gantiva et al, 2020).

Del mismo modo, siguiendo a Blanco (2019), en su estudio *Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo*, la autora señala que la variación de la luz no solo influye en el desarrollo y crecimiento de las plantas, sino determina la eficiencia con la que los cloroplastos pueden llevar a cabo la fotosíntesis y, específicamente, la producción de oxígeno. A su vez, el estudio logra evidenciar las características y atributos que se desarrollan en las plantas, en la medida que la luz, la sombra y el agua, logren el efecto en ellas, de una u otra forma. En este contexto, la autora propone la necesidad de desarrollar estudios experimentales que logren determinar los cambios y configuración de las plantas en su crecimiento y desarrollado, lo que sumado a lo anterior, permita determinar la incidencia de estos efectos en la generación o transformación del aire (Blanco, 2019).

El enfoque histórico-crítico y experimental en la enseñanza de las ciencias naturales, tal como lo plantea Gil (2023), enfrenta importantes desafíos, especialmente cuando se trata de explicar procesos complejos como la fotosíntesis en la producción de oxígeno. Este trabajo reconoce que no puede ser reducida simplemente en una ecuación química que indique la transformación de reactantes en productos, como la conversión de dióxido de carbono y agua en glucosa y oxígeno. En lugar de ello, la enseñanza de este fenómeno exige un análisis minucioso de las interacciones entre las estructuras celulares, como los cloroplastos, los pigmentos fotosintéticos, la luz y el agua, así como las condiciones que permiten que ocurra la producción de oxígeno.

Gil (2023) señala que las prácticas tradicionales a menudo no logran integrar los enfoques experimentales, lo que dificulta de gran manera tanto a los docentes como a estudiantes la comprensión del fenómeno fotosintético. En este sentido, Gil (2023) subraya la necesidad de replantear estrategias didácticas que combinen enfoques históricos y experimentales. De esta manera, este trabajo de grado busca profundizar la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos en la producción de oxígeno por el proceso de la fotosíntesis, con el objeto de mejorar su comprensión y enseñanza. Un centro de interés es cómo varían los procesos fotosintéticos bajo distintas condiciones de luz. Además, esta profundización tiene un enfoque pedagógico que busca sistematizar experiencias didácticas aplicables en el aula, hacia una aproximación de la fotosíntesis.

1.6 Justificación

El estudio de la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos en la producción de oxígeno en las plantas es clave para entender procesos vitales que sostienen los ecosistemas y, en última instancia, la vida en el planeta. Históricamente, investigaciones pioneras, como las de Jan Ingenhousz y Jean Senebier, revelaron la capacidad de las plantas para transformar el aire contaminado en oxígeno, subrayando la importancia de la luz solar como factor determinante. Estos descubrimientos establecieron las bases para comprender cómo los cloroplastos, a través de la fotosíntesis, convierten la energía luminosa en energía química y, simultáneamente, liberan oxígeno. Este aspecto fue crucial en su momento para el desarrollo de las teorías modernas de la fotosíntesis y sigue siendo relevante en la actualidad para abordar los desafíos ambientales y biológicos.

Críticamente, estos estudios históricos no solo evidencian la capacidad de las plantas para purificar el aire, sino que también ponen en perspectiva el vínculo directo entre la cantidad de luz y agua que reciben y su eficiencia en la producción de oxígeno. Las implicaciones de este análisis histórico son fundamentales: destacan la necesidad de entender cómo los factores ambientales, como la luz y el agua, interactúan en el proceso de la fotosíntesis. Sin embargo, mientras los estudios pioneros abordaban este tema desde las comprensiones limitadas por los avances tecnológicos, las investigaciones contemporáneas permiten el análisis detallado de los mecanismos subyacentes, como la participación de los cloroplastos y la importancia de los pigmentos fotosintéticos.

Desde esta perspectiva, el presente trabajo tiene en cuenta estos aspectos teóricos para diseñar un enfoque metodológico que permita identificar de manera controlada el impacto de variaciones en las condiciones de luz y agua en la producción de oxígeno en la planta *Elodea*. Este diseño experimental será clave para contrastar los hallazgos históricos con datos modernos. Por lo tanto, la relevancia de este trabajo no solo radica en su aporte disciplinar, sino también en su capacidad para generar conocimiento aplicable a la mitigación de problemáticas contemporáneas vinculadas al problema de estudio. La producción desde experimentos históricos y la integración de enfoques modernos permitirán profundizar en cómo los procesos fotosintéticos pueden ser optimizados bajo diferentes condiciones ambientales. En este sentido, se proyecta una doble contribución: por un lado, la consolidación de un marco conceptual sobre la fotosíntesis, y por otro, el desarrollo de herramientas pedagógicas que puedan ser utilizadas por el maestro en la enseñanza de estos procesos.

CAPÍTULO II. Proceder Metodológico

El desarrollo metodológico de este trabajo de profundización se basa en tres aspectos fundamentales: los referentes históricos y experimentales, el desarrollo de actividades experimentales y el diseño de una propuesta de aula. A continuación, se detallan cada uno de estos aspectos, estructurados en torno a la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos para la producción de oxígeno.

Este primer apartado se enfoca en el análisis de fuentes primarias, un proceso que me permitió contextualizar y profundizar en el origen del fenómeno en cuestión. Al abordar las contribuciones de figuras históricas como Jan Ingenhouz y Jean Senebier, pude establecer conexiones entre sus hallazgos y los objetivos de mi profundización. Estos autores jugaron un punto de inflexión del proceso fotosintético y abrieron nuevas interrogantes que se mantienen vigentes en la actualidad.

En particular, sus experimentos con plantas acuáticas y la observación de la producción de oxígeno bajo condiciones de luz, permitieron enmarcar la problemática en un contexto histórico y científico, proporcionando un marco conceptual sólido para la posterior ejecución de las actividades experimentales. A partir de la revisión de estos referentes históricos, me he formulado hipótesis y planteado nuevas preguntas que guían mi profundización.

El siguiente paso en el proceder consistió en profundizar en cómo los descubrimientos de los científicos ya mencionados anteriormente han contribuido al desarrollo del conocimiento sobre la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos en la fotosíntesis, y cómo sus enfoques metodológicos han evolucionado a lo largo del tiempo.

La reflexión que emerge de esta revisión histórica me llevó a cuestionar los paradigmas tradicionales sobre la enseñanza de la fotosíntesis. Con base en los referentes históricos, el siguiente paso fue diseñar una serie de actividades experimentales que permitieron explorar el fenómeno en estudio desde un enfoque histórico-experimental. Estas actividades se llevaron a cabo con plantas de Elodea, un organismo modelo, expuestas a diferentes longitudes de onda de la luz. El enfoque fenomenológico empleado en estos experimentos permitió observar de manera directa cómo las condiciones de luz y agua influyen en la producción de oxígeno en la planta Elodea. De esta manera, se profundiza en la comprensión de este fenómeno, deja de ser una simple memorización de conceptos y automatización de los procesos.

Finalmente, el último paso en este proceder metodológico fue el diseño de una propuesta de aula orientada a estudiantes del primer curso del Nivel Medio del Colegio Nacional Juan Ramón Dahlquist, en Asunción, Paraguay. Tiene como objetivo central de transformar la enseñanza de la fotosíntesis en un proceso más interactivo, experimental y significativo para los estudiantes.

La propuesta de aula se organiza en torno a un proyecto que integra tanto las actividades experimentales como los referentes históricos. A través de experimentos de fotosíntesis bajo diferentes condiciones de luz, se busca que los estudiantes comprendan y desarrollen habilidades mediante la manipulación de los elementos en estudio.

Como lo señala Valencia et al. (s.f). “la exploración del entorno institucional ofrece oportunidades para el reconocimiento de intereses, la formulación de preguntas, la construcción de problemas y el desencadenamiento de procesos explicativos”. En esta línea,

el diseño de la propuesta de aula busca articular estos elementos, permitiendo que los estudiantes reconozcan situaciones cotidianas relacionadas con la fotosíntesis y desarrollen explicaciones sobre el fenómeno.

De acuerdo con esta visión, la propuesta busca desencadenar situaciones que, en palabras de Orozco et al. (2003), permitan problematizar eventos del mundo cotidiano, orientando sus intereses hacia la construcción de conocimiento mediante actividades experimentales. De esta manera, se espera que los estudiantes no solo memoricen conceptos, sino que también desarrollen habilidades críticas y adquieran un entendimiento de los procesos fotosintéticos.

CAPÍTULO III Estudio Histórico

En este apartado se abordan las contribuciones de diversos científicos que, a lo largo de la historia, han examinado la interacción entre la luz, el agua y las estructuras de las plantas en el proceso de producción de oxígeno. Se presentan los análisis y reflexiones de las fuentes primarias leídas de los científicos Jan Ingenhouzs, con su trabajo: Experimentos sobre vegetales, descubriendo su gran poder de purificar el aire común a la luz del sol, y de herirlo en la sombra y de noche y Jean Senebier con su publicación “Recherches sur l’influence de la lumiere solaire. Pour metamorphofer l’air fixe en air pur par la vegetation” (1788), quienes, a través de sus experimentos y perspectivas, permitieron identificar y comprender los componentes y condiciones para la transformación de sustancias en las plantas.

3.1 Contexto histórico

Los procesos fisicoquímicos que ocurren en la naturaleza se han convertido en los escenarios de experimentación ideal para determinar los resultados de las relaciones, conexiones y combinaciones que se presentan en los diferentes compuestos y elementos químicos en su interacción natural. La fotosíntesis, proceso que se comprende como la acción de las plantas en la fabricación de compuestos ricos en energía y oxígeno (Baker y Allen, 1970), se establece como uno de los procesos más relevantes en el desarrollo y evolución del planeta tierra. De esta forma, en el texto *Biología e Investigación Científica*, de los autores antes referenciados, se establece un proceso de análisis y descripción de los aportes relacionados a la evolución histórica del proceso de la fotosíntesis.

En este orden de ideas, los autores plantean la necesidad de reconocer este proceso de la naturaleza, desde un enfoque histórico-crítico, por lo tanto, los diferentes aportes a las

dinámicas y experimentos que se desprenden del estudio sobre la fotosíntesis se ubican en un recorrido de antecedentes históricos, desde las particularidades y fluctuaciones más tempranas, hasta los procesos analítico-descriptivos en la modernidad. De este modo, el recorrido histórico planteado tiene como punto de inicio el siglo XVII, en donde, según lo que plantean los autores, los procesos experimentales sobre la fisiología vegetal eran rudimentarios, por lo tanto, sus reacciones o resultados investigativos no logran ampliar una perspectiva investigativa sobre las diversas reacciones químicas que se desprenden de las interacciones presentes en los elementos naturales.

Bajo este panorama, se presentan las primeras referencias a las combinaciones, reacciones y sustancias químicas que se manifiestan en interacción con la naturaleza, procesos que los seres humanos podían observar, pero que, a su vez, resultaban muy complejas de explicar o sustentar teórica y experimentalmente. En este sentido, para brindar una primera definición a estos procesos, los seres humanos que estudiaban estas interacciones entre la naturaleza y diversas sustancias químicas decantaron la *teoría de la transmutación*, en donde se creía que una sustancia podía ser reemplazada o cambiada por otra.

Para el siglo XVII, los seres humanos encontraban diferentes limitantes para avanzar a un análisis más específico sobre las reacciones químicas de las combinaciones entre sustancias químicas y los elementos naturales que los rodean. Tanta era la lejanía de estos primeros investigadores con relación a la interpretación de los procesos químicos, que en el caso de los gases (o sustancias aeriformes, como eran conocidos), se pensaba que estos eran los espíritus liberados en el proceso de calentamiento de materiales sólidos. De esta forma, se puede conocer el nivel de desconocimiento sobre las dinámicas de relacionamiento y transformación presentes en la naturaleza (Baker y Allen, 1970).

Desde esta perspectiva, en el mismo siglo XVII, se establecieron procesos científicos que quisieron abordar fenómenos naturales que no habían logrado ser explicados con anterioridad, los cuales decantaron en la *teoría del flogisto*, en donde se podía interpretar lo que sucedía en escenarios de combustión, particularizando el hecho de las llamas que escapaban hacia el exterior. En este sentido, se reconocía que el fuego trataba de desprenderse o escaparse de algún material que se quemaba, estos materiales desprendidos fueron nombrados *Flogisto* (Baker y Allen, 1970).

De esta forma, los elementos relacionados a la transmutación, la distancia conceptual evidenciada en la interpretación sobre algunos conceptos de la naturaleza, la ausencia de un entendimiento sobre el significado de los gases y la adopción de la teoría del flogisto, marcaron los primeros elementos bajo los cuales se enfocaron las investigaciones relacionadas a la fotosíntesis. En este contexto el autor, Jan Baptista Van Helmont (Baker y Allen, 1970) desarrolló uno de los primeros experimentos, que más adelante se enfocarían en explicar los elementos que configuran el proceso de la fotosíntesis. El experimento mostró la ganancia de peso de un árbol de sauce, tratando de descubrir cuáles eran los materiales o elementos más importantes para la nutrición vegetal, esto es, analizar cuáles son los materiales que inciden para que las plantas crezcan o se desarrollen de una mejor manera, de esta forma, Van Helmont, señaló que el crecimiento de la planta, después de cinco años, correspondía al trabajo o efecto que generaba el agua en el árbol de sauce (Baker y Allen, 1970).

Sin embargo, frente a esta interpretación se podría plantear algunos interrogantes, como *¿Cuál es la verdadera incidencia del agua en la planta? y, ¿Cuál es la participación de otros elementos de la naturaleza en el crecimiento de la planta?*

Seguidamente, finalizando el siglo XVII y con el desarrollo de herramientas tales como el microscopio y el impulso de las ciencias naturales, se lograron aplicar otras teorías que tratarían de explicar la forma como funcionan las estructuras de las plantas y su interacción con los medios naturales que las rodea. De esta forma, se propuso que las hojas de las plantas contaban con poros funcionales que operaban como órganos digestivos en la salida de materiales que resultaban como desechos de la digestión desarrollada.

Al tratar de corresponder a esta evidencia, el sacerdote inglés Stephen Hales (Baker y Allen, 1970), planteó un experimento en donde se estudiaría la necesidad de comprender el movimiento de materiales que se presenta dentro de las plantas, superando la teoría de Van Helmont, afirmando que el agua no es el único elemento nutricional para las plantas (Baker y Allen, 1970). En estos términos, Hales logró comprobar que el aire y la presión barométrica externa penetraban en las hojas de las plantas, estableciéndose como un elemento de nutrición vegetal, por lo tanto, se puede comprobar que las plantas interaccionan constantemente con la atmósfera y de forma viceversa, las plantas pueden afectar las condiciones del aire y de la atmósfera (Baker y Allen, 1970).

Más adelante, sobre el siglo XVIII, el químico francés, Antoine Laurent Lavoisier (Baker y Allen, 1970), discrepó sobre la teoría del flogisto, recalcando que las plantas obtienen sus nutrientes alimenticios del contacto e interacción con el agua y en una pequeña proporción con la tierra. En el mismo periodo de tiempo el químico inglés, Joseph Priestley, dio un gran salto con la aplicación de sus experimentos, en donde concluye que las plantas tienen un tremendo poder, pues invierten el efecto de la respiración, esto quiere decir, que no solo absorben energía del aire exterior, sino también tienen la facultad de purificar la atmósfera. El experimento de Priestley consistió en introducir una vela encendida en una campana, con

el tiempo, por la falta de oxígeno la vela se apaga, posteriormente, se introdujo una planta a la campana con la vela apagada en su interior, diez días después la producción de gas por parte de la planta, generó que la vela volviera a encender. Este proceso, se establece como un paso fundamental para reconocer como se manifiesta el efecto de la fotosíntesis.

Precisamente sobre este tema, el médico holandés Jan Ingenhousz (Baker y Allen, 1970), propone que las plantas en la naturaleza cumplen con un propósito fundamental para la vida, esto es, la capacidad de absorber aire, el cual puede encontrarse contaminado y lo logra regresar al medio natural en forma limpia y purificada. Este proceso, según Ingenhousz, se da con una mayor interacción, ante la presencia del sol, esto quiere decir, en las horas del día, por lo tanto, en horas de la noche, esta capacidad se reduce casi completamente. De este modo, el médico holandés, aporta el elemento de la luz al proceso final de la fotosíntesis; sumado a esto, señala que no todas las plantas, refutando a Priestley, tienen la capacidad de restaurar el aire o la atmósfera, para este científico, únicamente las plantas verdes tienen o desarrollan esta posibilidad, además de evidenciar que todas las partes vivientes de la planta logran hacer el ejercicio de la respiración (Baker y Allen, 1970).

3.2 Estudio histórico crítico

El proceso de revisión bibliográfica permite comprender la relevancia del aire como un elemento indispensable para la vida humana y el equilibrio del planeta. Se subraya cómo, recientemente, ha habido un creciente interés por comprender las propiedades y la influencia del aire en nuestro entorno, mediante lo cual se destaca el papel crucial del aire como sustento vital, sin el cual la existencia misma sería imposible, situación que resalta su importancia

tanto para los filósofos que reflexionan sobre la naturaleza como para los médicos preocupados por la salud y el tratamiento de enfermedades.

Al respecto, se refiere al descubrimiento de Priestley, quien reveló cómo las plantas pueden purificar el aire, en especial por la contaminación de la respiración de animales y otros factores. Este descubrimiento se presenta como un hecho muy importante en la comprensión de la interacción entre las plantas y el medio ambiente, así como en la búsqueda de alternativas para optimizar la calidad del aire.

Jan Ingenhouz, teniendo en cuenta principalmente los experimentos de Priestley, realiza experimentos donde demuestra la importancia de las plantas y la influencia directa de la luz en el proceso de la transformación del aire contaminado (flogisto). Observa que este proceso parece estar influenciado por factores como la luz solar y el agua, y que las burbujas de aire liberadas pueden variar en forma y tamaño según la especie de planta. Sugiere que este proceso podría desempeñar un papel en la purificación del aire y destaca la diversidad de respuestas entre diferentes tipos de plantas en cuanto al momento y la manera en que liberan aire.

De esta forma Jan Ingenhouz relata una serie de descubrimientos relacionados con la naturaleza de las plantas y su interacción con el aire los cuales son:

- Identificación de plantas que emiten un aire nocivo: descubre que algunas plantas, especialmente las flores, emiten un aire que podría afectar negativamente la salud humana, tanto de día como de noche.

- Producción de aire flogisto por las plantas: observa que pueden generar un tipo de aire contaminado llamado flogisto. Este aire parece ser producido por las raíces de las plantas y puede ser nocivo para los seres humanos y animales
- Experimentos para purificar el aire: El autor realiza una serie de experimentos para investigar métodos para purificar el aire contaminado. Se sugiere que el agua puede ser utilizada para eliminar las sustancias nocivas del aire y mejorar su calidad.
- Descripción de otros tipos de aire: menciona otros tipos de aire, como el aire inflamable y el aire fijo, y se discuten sus propiedades y efectos.

Estos descubrimientos del autor proporcionan una comprensión de la interacción entre las plantas y la atmósfera, centrándose en el papel de las hojas en la liberación de aire y su posible influencia en la calidad del aire.

Finalmente, el análisis de esta perspectiva histórica abre la posibilidad a la generación de una serie de cuestionamientos, que de una u otra forma, pueden ser abordados en el desarrollo de la presente profundización, a saber: *¿Por qué el autor considera importante estudiar el aire circundante producido por las plantas y cómo afecta a los seres vivos? ¿Cuáles son las diferencias en la producción de aire entre hojas expuestas a luz directa y luz filtrada? ¿Cuál es el papel específico de la luz solar en la producción de aire de las plantas? ¿Cómo podrían las hojas de las plantas utilizar la luz del sol para purificar el aire en diferentes entornos?*

3.2.1 Experiencias de Jan Ingenhousz

Un aparato tan grande, que la naturaleza despliega tan pronto como la luz comienza a proporcionar un cierto grado de calor sobre la superficie de la tierra, fácilmente puede considerarse como tontamente destinado ya sea al ornamento, al alimento de la planta, su crecimiento, maduración de su fruto, o para cualquier otra peculiar y singular. Las hojas de los árboles no solo sirven como adorno o fuente de alimento para la planta, sino que son esenciales para su crecimiento y la maduración de sus frutos. Al privar a un árbol de todas sus hojas, se corre el riesgo de que se pudra. Las hojas no solo absorben la humedad del aire, la lluvia y el rocío, sino que también juegan un papel vital en la fotosíntesis, el proceso que produce aire purificado. (Ingenhousz, 1779, p.156)

El científico realizó una serie de experimentos con hojas, flores, frutos, tallos y raíces de diferentes plantas para examinar la naturaleza del aire que producen y sus efectos sobre el aire común en diversas circunstancias. Utilizó un método que implicaba el uso de aire nitroso y un equipo específico, incluyendo tubos de vidrio marcados, una balanza de latón y medidas de aire.

El procedimiento consiste en introducir aire nitroso en el tubo grande hasta que se mezcle completamente con el aire dentro. Luego, sumerge en agua para equilibrar las presiones y utiliza una balanza de latón para medir las alturas de las columnas de aire y agua. Las lecturas en la escala donde coinciden las marcas del tubo y las columnas se registran. Utilizó medidas precisas para determinar cuánto aire era destruido por el aire nitroso en cada experimento. El autor detalló cuidadosamente las precauciones necesarias para evitar errores en el proceso, como la influencia del calor y el peso del aire.

Además, discutió la calidad del aire nitroso utilizado en los experimentos y cómo esta calidad afectaba a los resultados. Ingenhousz concluye que el aire nitroso más débil requería una mayor cantidad para saturar el aire común, lo que tenía implicaciones en la interpretación de los resultados obtenidos en los experimentos.

Posteriormente, en la siguiente prueba, colocó dos puñados de uva con las raíces cortadas en un frasco invertido lleno de agua de bomba. Durante el día, entre las doce y las quince horas, detectó una emisión considerable de aire desflogistizado en el fondo del frasco invertido, lo que hizo que la llama de una vela se volviera muy brillante. Utilizó diferentes métodos para probar la cantidad de aire desflogistizado presente:

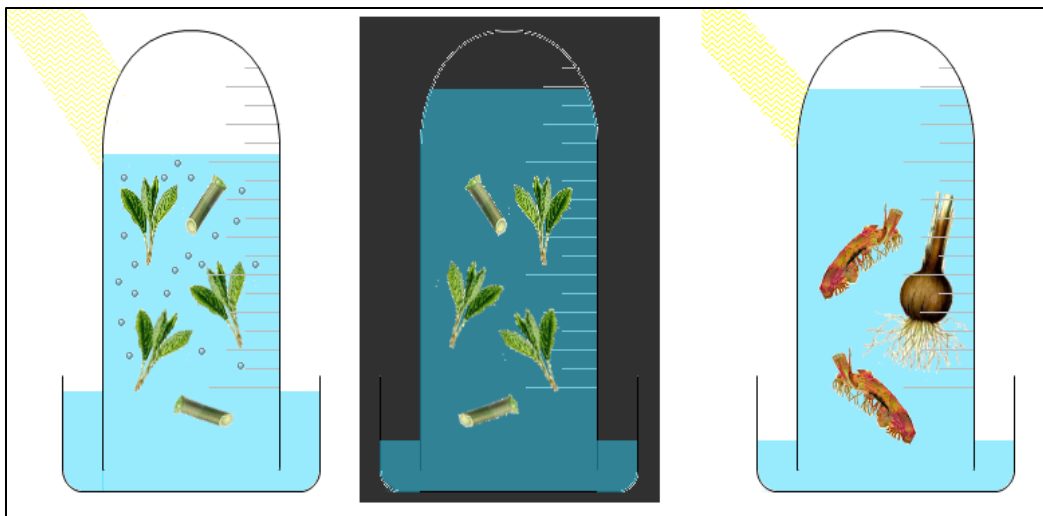
Según el método de Fontana, registrará que, al agregar aire nitroso al aire de la muestra, la marca en el tubo de vidrio indicaba diferentes valores, que variaban con cada medida de aire nitroso añadida. Utilizando un método similar al del doctor Priestley, obtuvo un resultado diferente. Al llevar más lejos esta forma de prueba, agregó una tercera medida de aire nitroso, observando nuevamente valores diferentes en la marca del tubo de vidrio. Ingenhousz encontró que la cantidad de aire desflogistizado medida variaba según el método utilizado, con el último método mostrando una cantidad ligeramente menor en comparación con el método de Fontana.

En la siguiente prueba, coloca dos puñados de hierbas cortadas y observó la emisión de aire puro entre las once y las catorce horas de la tarde. Los resultados obtenidos mediante la prueba de Fontana mostraron diferentes valores a medida que se agrega aire nitroso al aire de la muestra. Otro método también dio resultados variables según la cantidad de aire nitroso añadido.

En la tercera prueba, coloca dos puñados de hojas de lámina a la misma exposición solar, obteniendo una cantidad considerable de aire puro de alta calidad.

La cuarta experiencia involucró la exposición de hojas de vid a condiciones similares, generando una buena cantidad de aire puro de calidad, según la prueba de Fontana y otros métodos. En el quinto experimento, expuso raíces cortadas al sol durante un período específico, resultando en una gran cantidad de aire puro de calidad notable y fina, con una llama de vela brillando intensamente. Finalmente, en la experiencia seis, colocó un plato de tamaño moderado común expuesto antes de la floración, generando una cantidad significativa de aire puro y de calidad, según los resultados de la prueba de Fontana y otros métodos utilizados.

Ilustración 1. Representación de los experimentos de Ingenhouz, en el recipiente de la izquierda las hojas verdes sumergidas en agua en presencia de luz solar produciendo oxígeno, en la del medio en la oscuridad sin generar suficiente oxígeno y en la derecha con raíces y tallos en presencia de la luz produce en poca cantidad.



Nota. Fuente, https://entenderlaciencia.blogspot.com/2015/11/los-experimentos-mas-bellos-de-la_23.html

El científico también realizó experimentos para investigar las diferencias en la pureza del aire obtenido de hojas de la misma planta en diferentes condiciones y momentos. Comenzó

con hojas de manzano sumergidas en agua invertida desde la mañana hasta la tarde, produciendo resultados variables de aire puro a lo largo del día. Luego, las hojas expuestas al sol en una botella verde durante la hora de la comida mostraron resultados diferentes, generando más burbujas de aire. Repitió el experimento con hojas empleadas el día anterior, exponiéndolas nuevamente con agua fresca, lo que generó un aire notable fino. Según el autor, el agua no perjudica a las plantas siempre y cuando no se prolonga la exposición, y que ciertas plantas acuáticas prosperan incluso cuando están completamente sumergidas. Esto sugiere que las plantas pueden sobrevivir y seguir desempeñando sus funciones esenciales sin comunicación directa con el aire exterior por algún tiempo.

Las hojas expuestas durante la noche en un día oscuro producen una cantidad mínima de aire, incluso peor que el aire común, mientras que las hojas expuestas durante la mañana muestran mejores resultados. Examinó el aire de las hojas de salsa tratadas de manera similar al primer experimento, obteniendo resultados diferentes. El aire recolectado en un día oscuro, lluvioso y ventoso era de calidad inferior, mientras que el aire recolectado en días cálidos y soleados mostraba una mejor calidad. La calidad del aire es inferior en ciertos casos, se debe a que las hojas estaban demasiado amontonadas en el frasco, privadas de luz y sombreadas por otras.

De la misma manera, realizó experimentos con hojas de sauce expuestas durante diferentes momentos del día. Se observó que las hojas expuestas desde la mañana hasta la tarde mostraron una variabilidad significativa en la calidad del aire recogido a lo largo del día. Por ejemplo, el aire recolectado en la tarde presentó una calidad ligeramente superior en comparación con el recolectado en la mañana. El aire desflogistizado que se libera de las hojas no proviene del agua misma, sino de una operación especial realizada en la hoja viva. La bomba llena de agua, cuando se deja reposar, produce aire desflogistizado, pero este

proceso es lento y requiere la formación de una materia verde en el agua. En contraste, las hojas sumergidas en agua producen este aire inmediatamente, indicando que es generado por la actividad vital de las hojas expuestas a la luz del día.

La producción de aire purificado por las hojas no se debe al calor, sino a la luz. Las hojas calentadas al sol y luego sumergidas en agua fría producen burbujas de aire rápidamente. El calor del fuego no produce el mismo efecto. Solo la luz del sol permite que las hojas continúen produciendo oxígeno de alta calidad. Este proceso subraya la importancia de la luz en la fotosíntesis y en la producción de oxígeno.

No solo realiza experimentos con una especie de planta, sino que llevó a cabo experimentos con diversas plantas, como helechos y repollos, para determinar cuánto aire desflogistizado producían. Encontró que la cantidad de aire desflogistizado variaba según el tipo y la cantidad de hojas utilizadas. Por ejemplo, las hojas de helecho produjeron una cantidad ligeramente menor de aire desflogistizado en comparación con las hojas de repollo.

Ingenhousz no solo lleva a cabo con la luz del día sus pruebas, también lo hace en diferentes momentos como en ausencia de la luz para examinar la calidad del aire producido por las plantas. Percibió que algunas plantas, como las hojas de roble y la pimienta de agua, producían un aire de calidad inferior que afectaba la capacidad de una vela para arder. Además, se encontró que el aire contaminado por las plantas durante la noche recuperaba su pureza durante el día, especialmente con ciertas especies de plantas como el tilo, el nogal y la vid.

Los tallos verdes, como los del sauce, demostraron tener la capacidad de producir aire de calidad cuando se exponían a la luz directa, lo que sugiere que no solo las hojas, sino también

otras partes verdes de las plantas pueden influir en la calidad del aire. Por otro lado, las ramas cubiertas de corteza, como las de la morera, no mostraron mejoras significativas en la calidad del aire cuando se expusieron a la luz. La función de la luz en la capacidad de las plantas para producir aire desflogistizado es significativo. Durante el día, especialmente bajo la luz solar directa, las plantas pueden transformar el aire contaminado en aire respirable en un corto período de tiempo. Este proceso es menos eficaz o casi nulo durante la noche o en condiciones de oscuridad. Las hojas y otras partes de la planta, al estar expuestas a la luz, contribuyen significativamente.

En todos los experimentos de Ingenhouz, se evidencia que el aire desflogistizado no existe en las hojas en estado puro, sino que se produce a través de una purificación o transmutación. Cuando las hojas se exprimen bajo el agua, el aire que se libera es de menor calidad que el aire común. Este proceso de purificación es primordial para la producción de aire vital, demostrando que las hojas no solo lo producen, sino que también lo purifican el aire viciado.

Además, el autor detecta que no todas las plantas ni todas sus partes tienen el mismo efecto sobre la calidad del aire. Las raíces de muchas plantas, cuando se exponen fuera del suelo, y algunas flores y frutos, producen un aire viciado que puede ser perjudicial para la salud humana, especialmente en espacios cerrados y poco ventilados. Sin embargo, las hojas en su mayoría producen aire purificado bajo la influencia de la luz solar.

Ingenhouz enfatiza la importancia de la luz, el agua en la capacidad de las plantas para producir aire purificado. Las hojas juegan un papel crucial en este proceso, demostrando una capacidad notable para mejorar la calidad del aire durante el día. Sin embargo, en condiciones

de oscuridad, muchas partes de las plantas, incluidas las raíces y flores, pueden emitir aire viciado.

De igual manera, reflexiona sobre la capacidad de cierta materia verde de origen vegetal, para producir aire desflogistizado en el agua, incluso sin comunicación directa con la atmósfera. Esta materia verde transforma un tipo de aire en otro bajo la influencia de la luz solar.

Al llevar a cabo numerosos experimentos para evaluar el grado de pureza del aire producido por diferentes plantas, concluye que las hojas de las plantas, especialmente cuando estaban expuestas a la luz directa durante ciertas horas del día, tenían la capacidad de producir aire de alta pureza, lo que se demostró mediante la capacidad de una llama para arder con un brillo intenso en presencia de este aire.

La variación en la calidad del aire producido por diferentes partes de las plantas bajo diversas condiciones ambientales es un área poco explorada que posee implicaciones significativas para la comprensión de los procesos fotosintéticos y su influencia en la calidad del aire en diferentes partes de varias especies de plantas afectan la producción y calidad del aire bajo condiciones controladas de luz y oscuridad.

Las experiencias de Jan Ingenhouzs, aunque revolucionarias en su tiempo, presentan una interesante mezcla de avances experimentales que reflejan las tensiones inherentes a la ciencia de finales del siglo XVII. Su trabajo en torno a la interacción entre las plantas, la luz y el aire, particularmente con la producción de oxígeno, marcó un hito en el estudio de la fotosíntesis, pero también exhibe las restricciones impuestas por las herramientas de su época.

Es esencial destacar que los desarrollos publicados por Ingenhouz se dan en un contexto dominado por la teoría del flogisto, un concepto que, aunque en declive, seguía influyendo en la interpretación de los fenómenos naturales. La idea del aire desflogistizado que menciona refleja esta influencia. A pesar de que logró observar y medir lo que más tarde se reconocería como oxígeno, su entendimiento de estos gases estaba condicionado por una teoría que no correspondía con la química. Esto lleva a la reflexión sobre cómo las ideas imperantes pueden influir en la capacidad de los científicos para interpretar correctamente sus descubrimientos, por más avanzados que sean en sus observaciones empíricas. Hoy en día también se enfrentan a paradigmas científicos que podrían ser reemplazados en el futuro, por tanto, maestros y estudiantes se deben mantener abiertos a nuevas ideas y revisiones teóricas.

Las herramientas disponibles para Ingenhouz eran notablemente rudimentarias, aún con estas limitaciones, pudo observar la producción de oxígeno bajo distintas condiciones. Acertadamente determinó que la luz solar es esencial para que las plantas purifiquen el aire, pero su interpretación de los fenómenos seguía siendo limitada. Para el científico, las plantas simplemente liberaban aire purificado cuando eran expuestas al sol, sin pensar la complejidad de los procesos bioquímicos que se conoce hoy como fotosíntesis. Esta visión reduccionista de un proceso altamente dinámico y complejo, como la conversión de energía lumínica en energía química, demuestra las restricciones teóricas que imponía la falta de un marco molecular para interpretar sus observaciones.

Desde esta perspectiva, los avances científicos no son lineales, sino que surgen de una combinación de pruebas, errores conceptuales y revisión continua. Esto subraya la

importancia de incentivar a los estudiantes que la ciencia no es una colección de hechos inmutables, sino un proceso de constante evolución.

Finalizando el siglo XVIII y con los avances y aportes de los teóricos que asumieron el estudio sobre estos procesos vegetales y su interacción con los elementos de la naturaleza, surgirían nuevos interrogantes, que evidentemente corresponden a una complejización de las estructuras que son estudiadas. En este sentido, se plantea, por ejemplo, la siguiente pregunta: *¿Cuál es el origen del oxígeno liberado por las plantas, del agua, del dióxido de carbono o de ambos?*, frente a esto el científico francés M. Berthollet, propone que el oxígeno que libera la planta se origina de la separación de las moléculas de agua.

Sin embargo, Jean Senebier, un científico influyente en la comprensión de la fotosíntesis realizó una serie de experimentos y reflexiones sobre el rol de la luz en la producción de oxígeno en las plantas. Desde una perspectiva experimental, se planteó una pregunta, considerando los trabajos previos de otros científicos, *¿cómo interactúan la luz y el aire fijo en la producción de oxígeno por parte de las plantas?* En un contexto en el que la comprensión de los procesos químicos y biológicos aún estaba en sus inicios, Senebier realizó una serie de investigaciones para abordar esta cuestión. A lo largo de estas investigaciones, empleó métodos simples pero ingeniosos, que se verán más adelante, que permitieron comprender mejor cómo las plantas transforman la energía solar y los gases atmosféricos en oxígeno.

3.2.2 Experiencias de Jean Senebier

El primer experimento que Senebier llevó a cabo consistió en exponer hojas sumergidas en agua a la luz directa (luz del sol). su propósito era observar si la luz tenía un efecto directo sobre la capacidad de las hojas para producir oxígeno, lo que en ese momento era conocido

como aire puro (Senebier, 1788). Utilizó hojas verdes recién recolectadas, sumergiéndolas en recipientes de vidrio llenos de agua. Estos recipientes se colocaban bajo la luz solar durante varias horas y otras muestras en ausencia de la luz, permitiendo al científico observar la formación de burbujas de aire en la superficie de las hojas que estaban expuestas a la luz solar.

La metodología del experimento era sencilla pero reveladora: comparaba las hojas que recibían luz solar directa con aquellas que estaban en sombra o en oscuridad total. Los resultados fueron claros: las hojas expuestas a la luz producían una gran cantidad de burbujas de aire, mientras que las hojas en la oscuridad apenas producían burbujas de aire. Estos experimentos los repitió en varias ocasiones. De esta manera, Senebier concluyó que la luz solar era esencial para que las plantas produjeran oxígeno (Senebier, 1788).

Aunque este experimento fue un avance significativo para la época, la interpretación de Senebier no contempla completamente el proceso. En ese momento, se desconocía el papel de los cloroplastos en la captación de la luz y la posterior excitación de los electrones, lo que da lugar a la fotólisis del agua, el proceso detrás de la producción de oxígeno en la fotosíntesis (Blankenship, 2014). Senebier no comprendía completamente por qué la luz era necesaria, pero intuía correctamente que había una relación entre la exposición a la luz y la liberación de oxígeno. Este estudio subraya la capacidad de observación rigurosa del científico, pero también pone en manifiesto las limitaciones de la ciencia en la época, que aún no contaba con las herramientas para identificar los componentes celulares responsables de este proceso. Hoy en día se sabe que el cloroplasto, específicamente en los tilacoides, es la estructura donde tiene lugar la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2010).

En su segundo experimento, exploró cómo la composición química del medio en el que se encontraban las hojas influía negativamente la producción de burbujas de aire. Para ello, comparó hojas sumergidas en agua pura con hojas sumergidas en agua acidulada (agua con ácido añadido, probablemente ácido carbónico o sulfúrico). La hipótesis que guiaba este experimento era que el entorno químico podría tener una influencia en la capacidad de las plantas para liberar burbujas de aire (Senebier, 1788). Senebier utilizó recipientes de vidrio transparentes para poder observar cualquier cambio en la producción de burbujas de aire. En uno de los recipientes colocó agua común, mientras que en el otro utilizó agua acidulada.

Al exponer ambos recipientes a la luz solar, de esta manera observó que las hojas en agua acidulada producían más oxígeno (medido por la cantidad de burbujas) que aquellas en agua pura. Este resultado llevó a Senebier a concluir que el ácido, de alguna manera, facilitaba la producción de oxígeno (Senebier, 1788).

El hallazgo de Senebier fue significativo porque sugirió que el entorno químico influía en el proceso de la fotosíntesis, pero su interpretación sobre el papel era imprecisa. Gracias a las investigaciones actuales, se da a conocer que el aumento en la producción de oxígeno no se debía al ácido en sí, sino a la mayor disponibilidad de dióxido de carbono disuelto en el agua acidulada. Este gas, esencial para el ciclo de Calvin, es utilizado por las plantas durante la fotosíntesis para producir carbohidratos y oxígeno (Karp, 2009). Sin embargo, Senebier desconocía los mecanismos exactos por el cual las plantas absorbían dióxido de carbono. Aunque no pudo llegar a una conclusión precisa, su trabajo sirvió para futuras investigaciones.

En el tercer experimento, se preguntó si la cantidad de luz afectaba la producción de burbujas de aire en las plantas translúcidas para modificar la intensidad de la luz que llegaba a las hojas sumergidas en agua. Al reducir o aumentar la cantidad de luz que llegaba a las hojas, Senebier pretendía establecer una relación entre la cantidad de luz disponible y la producción de burbujas de aire (Senebier, 1788).

En este experimento, colocó hojas en recipientes transparentes llenos de agua y las expuso a diferentes intensidades de luz solar. Algunas hojas recibían luz solar directa, mientras que otras se cubrían con pantallas que filtraban la luz. A lo largo del día, observaba minuciosamente la cantidad de burbujas de aire se formaban en cada uno de los recipientes. Los resultados mostraron que las hojas que recibían luz más intensa producían más burbujas de aire en comparación con las hojas bajo la luz filtrada (Senebier, 1788).

Gracias a este experimento, Senebier pudo entender la relación entre la intensidad lumínica y la eficiencia fotosintética. Aunque no podía explicar con precisión por qué la luz más intensa aumentaba la producción de oxígeno, estaba en lo correcto al suponer que la cantidad de luz era un factor determinante. Según Blankenship (2014), una mayor intensidad de luz proporciona más energía para la excitación de los electrones en las moléculas de la clorofila, lo que impulsa el proceso fotosintético.

Senebier también investigó si todas las partes de la planta producían aire de manera similar, o si las hojas, al estar expuestas directamente a la luz, eran las principales responsables de la fotosíntesis. Para responder a esta pregunta, diseñó un experimento en el que comparaba la producción de burbujas de aire en hojas, tallos y raíces de diferentes plantas. Colocaba estas partes de las plantas en recipientes de vidrio llenos de agua y los exponía a la luz solar.

Posteriormente comparaba la cantidad de burbujas que se generaba en cada parte (Senebier, 1788).

Los resultados mostraron que las hojas verdes producían significativamente más burbujas de aire que los tallos y las raíces. Esta observación lo llevó a concluir que las hojas eran los principales órganos fotosintéticos de las plantas, y que los tallos y las raíces jugaban un papel mucho más limitado en este proceso (Senebier, 1788). Este experimento fue trascendental para identificar a las hojas como los órganos principales responsables de la fotosíntesis.

En su quinto experimento, se centró en investigar el papel del dióxido de carbono, o aire fijo, en la fotosíntesis. Con este experimento buscaba determinar si el dióxido de carbono era necesario para que las plantas produjeran oxígeno. Senebier coloca hojas en recipientes cerrados donde podía controlar la cantidad de dióxido de carbono presente. Como los otros experimentos, comparaba la producción de burbujas de aire de las hojas expuestas a mayores concentraciones de dióxido de carbono con aquellas que estaban en condiciones normales de aire (Senebier, 1788).

Descubrió que las hojas expuestas a mayores concentraciones de dióxido de carbono producían más aire, lo que le llevó a concluir que este gas era absorbido por las plantas y utilizado en el proceso de producción del aire vital (Senebier, 1788).

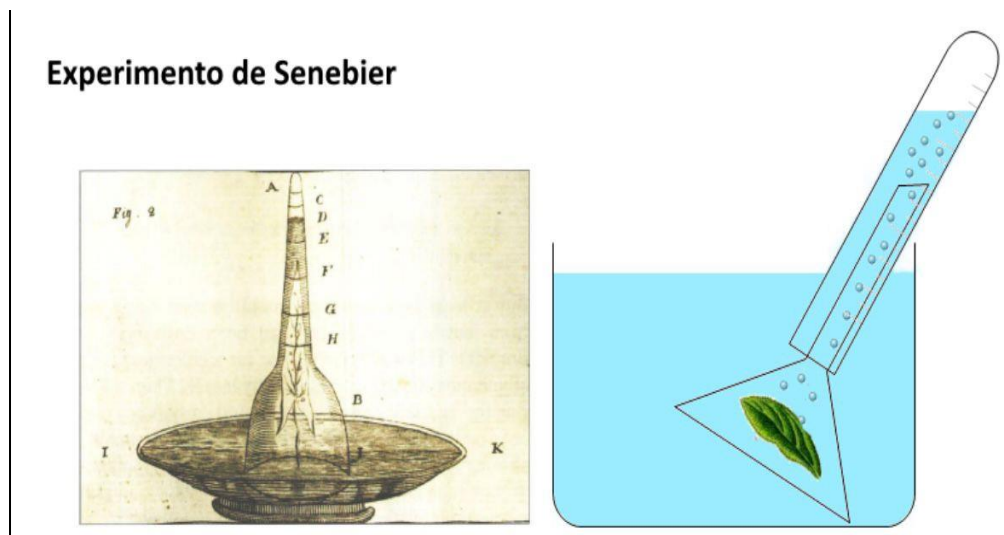
Los trabajos de Senebier, con su aporte experimental, demostraron de manera efectiva la relación entre la luz y el desprendimiento del oxígeno, pero sería necesario preguntarse hasta qué punto sus descubrimientos ofrecen una comprensión del fenómeno. En sus experimentos, Senebier centró la atención en dos elementos, la luz y el dióxido de carbono, como factores principales para la liberación de oxígeno, minimizando otras variables que hoy se sabe que

son igualmente relevantes, como el papel del agua, los cloroplastos o los distintos pigmentos en la absorción de la luz.

En sus escritos, afirmó, que cuando no hay luz, la descomposición del agua no se produce o lo hace de forma muy limitada. Este fenómeno lo relaciona con el desprendimiento de oxígeno en las plantas, el cual se transforma en lo que él llamó aire vital gracias a la acción de la luz. La luz no solo facilita este proceso, sino que también ayuda a separar el oxígeno del aire inflamable, el cual se transforma en gas dentro de las hojas y es liberado con la luz (Senebier, 1788)

El planteamiento inicial de Senebier influye sobre las teorías modernas de la fotólisis del agua de la fotosíntesis, donde la luz no actúa directamente como expulsor del oxígeno, sino que es fundamental en la transformación del agua, permitiendo que el oxígeno sea liberado.

Ilustración 2. La primera imagen es el dibujo del montaje real utiliza y la segunda imagen equivalente con materiales actuales. Gracias a este sistema, Senebier estudió por primera vez la influencia de la luz en la producción de oxígeno.



Nota. Fuente: <https://entenderlacion>

Bajo este panorama, se desprende otro proceso analítico más complejo, el cual refuerza el efecto de la luz y el color de las plantas como elemento primordial en el desarrollo del proceso de la fotosíntesis. Aquí es donde aparece en la discusión la Clorofila, la cual se manifiesta como un pigmento encontrado en ciertas plantas y permite la generación efectiva de la fotosíntesis, esta puede dividirse en clorofila *a* y clorofila *b*, la primera de ellas se encuentra en todas las plantas verdes y en todas las algas y la segunda en las plantas y en las algas verdes. De esta forma, el pigmento denominado clorofila, actúa en la medida que su intensidad de color y por lo tanto de ondas producidas, tengan la capacidad de absorber menos o mayor energía (Taiz & Zeiger, 2010).

3.3 Algunas reflexiones a partir de los análisis

Los estudios de Ingenhouz y Senebier sobre el proceso de fotosíntesis de las plantas reflejan una variedad de aproximaciones que influyeron tanto en los métodos utilizados como en la forma de interpretar los resultados obtenidos. Estos caminos hacia la experimentación científica muestran cómo cada diseño experimental responde a objetivos específicos, Lo cual permite llegar a la conclusión de que las plantas tienen la capacidad de purificar el aire contaminado, lo que se observa en métodos como el uso de recipientes cerrados o plantas sumergidas en agua, donde se forman burbujas de gas en presencia de luz. Además, se observa un tránsito progresivo desde observaciones iniciales hasta el análisis de los resultados.

Desde una perspectiva histórica, es plausible reconocer que cada uno de estos científicos formuló preguntas en torno a las sustancias involucradas en el fenómeno de la fotosíntesis, así como las estructuras y un conjunto de condiciones necesarias para la ocurrencia del

mismo. A lo largo de sus trabajos, surge una convergencia que orienta el entendimiento de la fotosíntesis hacia un sistema interdependiente, en el cual tanto el agua como la luz son condiciones esenciales, y ambos interactúan con estructuras especializadas, como las hojas verdes. De esta manera, la luz no solo se establece como una condición indispensable, sino como un catalizador que interactúa con sustancias y estructuras de manera compleja y esencial para la producción de oxígeno.

La reconstrucción de estos avances históricos ayuda a comprender como estas sustancias se transforman durante la fotosíntesis. En los experimentos de Van Helmont, se observan los primeros intentos de asociar el crecimiento de las plantas con la participación del agua y el dióxido de carbono. Posteriormente, los experimentos de Ingenhouz y Senebier plantearon cómo estos elementos están relacionados con modificaciones en el aire circundante, lo que apunta a un proceso específico ligado con las propiedades del ambiente que rodea a las plantas. Aquí, los experimentos que demuestran la transformación de dióxido de carbono y agua bajo la influencia de la luz resultan esenciales para develar un proceso hasta entonces desconocido.

Por otro lado, los experimentos realizados sugieren que tanto el agua como el dióxido de carbono son factores limitantes en este proceso, como se demostró en trabajos posteriores que indicaban que, al alterar la cantidad de alguno de estos elementos, la producción de oxígeno y el desarrollo de las estructuras vegetales se veían afectados.

Las observaciones de Ingenhouz en torno a las áreas fotosintéticas de las plantas, tales como las hojas y tallos, indican que la fotosíntesis ocurre únicamente en estas estructuras cuando están expuestas al sol, estableciendo así la luz como una condición esencial para que ocurra

la transformación del agua en oxígeno. Esta dependencia de la luz y las estructuras verdes ilustra la interrelación entre factores internos y externos que facilitan este proceso. De esta manera, los experimentos y descubrimientos de los científicos ofrecen una base sólida que permite comprender cómo estos elementos trabajan en conjunto para llevar a cabo la fotosíntesis.

Adicionalmente en otros trabajos como el de Grew se pueden rastrear procesos experimentales incipientes en el camino hacia la comprensión del papel de las estructuras vegetales que participan en la fotosíntesis y directamente la producción de oxígeno. Por su parte, Grew (1672) logró observar “poros” en las hojas que facilitaban el intercambio de gases, conocidos hoy como estomas, lo que permitió sentar las bases para comprender cómo el agua, absorbida por las raíces y conducida a través del xilema, llega hasta las hojas y participar en la fotosíntesis. Este transporte no es un proceso pasivo, sino que está controlado por la abertura y cierre de las estomas, regulados por la planta para equilibrar el ingreso de dióxido de carbono con la salida de agua y oxígeno (Grew, 1672). La hipótesis de Grew se confirma al entender que los estomas facilitan el intercambio de sustancias cruciales para la fotosíntesis, aunque su función está mediada por la disponibilidad de agua.

Este análisis histórico crítico, además de facilitar la comprensión del fenómeno, también orienta las modificaciones en los diseños experimentales actuales, motivando una exploración más detallada de la relación entre la luz, el agua y los cloroplastos en plantas específicas como la Elodea. Esta perspectiva permitirá más adelante, ampliar las discusiones sobre cómo la luz, el agua y los cloroplastos participan en la producción de oxígeno, por lo anterior, más adelante, se proponen un diseño experimental que tiene como intención explorar esta relación.

Contribuciones a partir de los aportes de los trabajos de Ingenhousz

Ingenhousz, por otra parte, fue el primero en señalar que la purificación del aire en las plantas depende de la exposición a la luz. Sus experimentos con estructuras verdes llevaron a la conclusión de que, sin luz, no ocurre la liberación de gases, lo que reveló el papel de los cloroplastos en la fotosíntesis (Ingenhousz, 1779). Más adelante, estudios microscópicos mostraron que los cloroplastos contienen tilacoides, donde ocurre la fotólisis del agua. Este proceso, que tiene lugar en el fotosistema II, se desencadena cuando los pigmentos encargados de la fotosíntesis, como la clorofila, absorben luz, lo que inicia la escisión de las moléculas de agua en protones, electrones y oxígeno (Karp, 2009). Este oxígeno es liberado como producto secundario, mientras que los electrones son utilizados para generar ATP y NADPH, las moléculas de energía necesarias para el resto del proceso fotosintético. Aquí, el agua desempeña un papel primario, ya que provee los electrones y protones necesarios para la cadena de transporte electrónico, y no simplemente un sustrato más dentro del ciclo global de la fotosíntesis (Karp, 2009).

El agua en este proceso está relacionada con el mantenimiento de la turgencia celular, permitiendo que las hojas mantengan su estructura y su capacidad de captar luz. Al interactuar con la luz, el agua no solo participa en la fotólisis, sino que su transporte dentro de la planta es esencial para asegurar el suministro continuo de las moléculas necesarias para la producción de oxígeno. En este sentido, el agua no es solo un insumo pasivo, sino un actor activo que determina en qué medida las plantas pueden llevar a cabo la fotosíntesis de manera eficiente. Sin suficiente agua, las plantas cierran sus estomas para conservarla, lo que también limita la absorción de dióxido de carbono, reduciendo significativamente la tasa fotosintética,

pero lo más crítico es que sin agua, la fotólisis no puede ocurrir, y por lo tanto, no se produce oxígeno (Taiz y Zeiger, 2010).

El aparato fotosintético, compuesto por las hojas, tejidos, cloroplastos y tilacoides, es, por tanto, un sistema altamente especializado que responde a la interacción entre la luz y el agua, (Taiz y Zeiger, 2010). En las membranas tilacoidales de los cloroplastos, los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila a y b, absorben la energía lumínica y la convierten en energía química mediante una secuencia de reacciones en cadena (Taiz y Zeiger, 2010). La fotólisis del agua, mencionada anteriormente, ocurre específicamente en estas membranas tilacoidales y es el punto de partida para la producción de oxígeno. Sin agua, las plantas no podrían completar esta fase de la fotosíntesis, lo que recalca su papel fundamental en la ecuación (Taiz y Zeiger, 2010).

Es esencial también mencionar el efecto de la calidad de la luz en la eficiencia de este proceso. Las clorofilas a y b capturan principalmente luz azul y roja, mientras que reflejan la verde, pero no todas las longitudes de onda son igualmente eficaces para inducir la fotólisis del agua. La luz roja, por ejemplo, es particularmente efectiva para iniciar el proceso de liberación de oxígeno. Esto se debe a la afinidad de la clorofila a por estas longitudes de onda, que optimizan la eficiencia del fotosistema II (Manrique, 2003).

Con todo lo anterior, un aspecto que frecuentemente se pasa por alto en la enseñanza de la fotosíntesis es que, aunque el dióxido de carbono es necesario para la fase oscura del proceso (el ciclo de Calvin), su papel es secundario en la fase luminosa. En esta fase, la interacción crítica ocurre entre la luz y el agua. Esto tiene implicaciones importantes para el docente al enseñar fotosíntesis. Un enfoque excesivo en el dióxido de carbono como un insumo

principal puede desviar la atención de las verdaderas reacciones iniciales que permiten la producción de oxígeno, que son desencadenadas por la fotólisis del agua. Es decir, la liberación de oxígeno es una consecuencia directa de la escisión del agua inducida por la luz, y no un subproducto del metabolismo del dióxido de carbono (Revilla y Zarra, 2013).

Desde un punto de vista didáctico, esto implica que en la enseñanza de la fotosíntesis es necesario profundizar y dar mayor relevancia a la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos. El proceso no puede ser comprendido en su totalidad sin reconocer que el agua es, de hecho, el punto de partida para la liberación de oxígeno, en la práctica, los experimentos en el aula que muestran la importancia de la luz y el agua en la producción de oxígeno pueden ofrecer a los estudiantes una visión más equilibrada y precisa de cómo ocurre la fotosíntesis. En este contexto, los estudios históricos de Grew (1672) e Ingenhousz (1779) proporcionan no solo un marco de referencia, sino una lección sobre la importancia de observar los detalles anatómicos y funcionales de las plantas en la producción de oxígeno.

Por ello, el desarrollo de procesos de análisis y comprensión de fenómenos tales como, la interacción entre la luz y el agua en las plantas, como factores determinantes en la producción de oxígeno, se establecen como dinámicas que incentivan la experimentación en los procesos de formación en ciencias naturales. Por lo tanto, la formulación de este tipo de contextos problemáticos de profundización, pueden llevar al fortalecimiento del pensamiento científico en los estudiantes, logrando desarrollar hipótesis y conjeturas que impactan y contrastan con los avances relacionados a esta temática de estudio. De esta forma, se plantea que en el contexto de la enseñanza de la fotosíntesis pocas veces se hace referencia a la interacción entre luz, agua y cloroplastos para la producción de oxígeno.

Así, los recursos empleados en el proceso de enseñanza aprendizaje limitan los procesos de abstracción que los estudiantes puedan generar entorno a este fenómeno, llevando a una simplificación del fenómeno que puede dar lugar a una comprensión superficial y errónea del proceso por parte de los estudiantes.

Además, las condiciones que se presentan en la producción del oxígeno, plantean un desafío adicional en términos de diseño experimental y observación en el aula, en la medida que las condiciones controladas que se requieren para demostrar las interacciones de la luz, el agua y los cloroplastos sobre la fotosíntesis son difíciles de replicar en un entorno educativo típico, es decir, la capacidad de los maestros para explicar de manera accesible y comprensible estas variaciones en la producción de oxígeno se presentan limitantes y no llegan a abordar todos los elementos y factores que impactan en la transformación del aire.

3.4 Indagación sobre la luz y los pigmentos

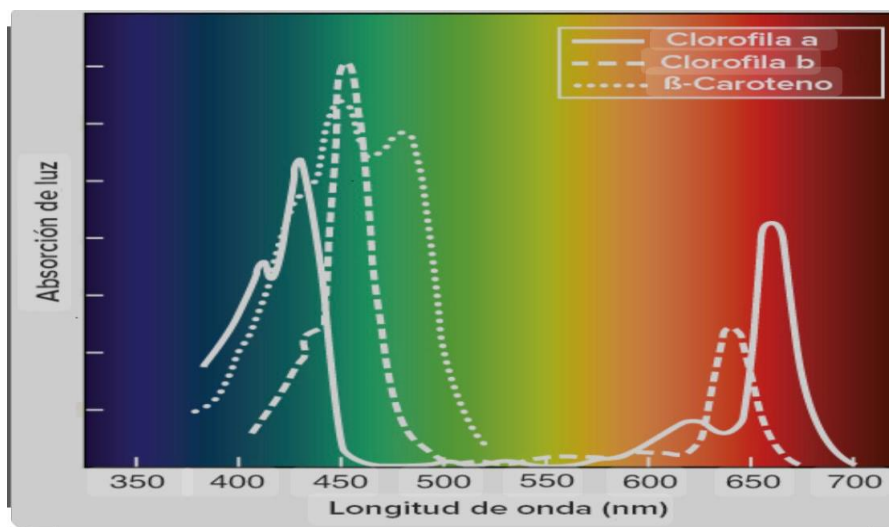
En el marco de las investigaciones históricas sobre la fotosíntesis, los trabajos de Jan Ingenhousz (1779) y Jean Senebier (1788) suscitan interrogantes que invitan a reflexionar sobre el papel de la luz y los procesos fisiológicos de las plantas. ¿Cómo las observaciones de Ingenhousz, que demostraron la importancia de la luz en la purificación del aire, se relaciona con los avances contemporáneos sobre la interacción entre la luz y los pigmentos fotosintéticos en los cloroplastos? Por otro lado, ¿De qué manera los estudios de Senebier, que destacó el papel del dióxido de carbono, complementa la comprensión actual sobre el espectro de luz absorbido por los pigmentos y su influencia en la eficiencia fotosintética?

Hoy en día, es fundamental comprender la luz en el contexto de su dualidad como onda y partícula, lo que resulta esencial para entender su rol en la transformación de sustancias

durante el proceso la fotosíntesis. La radiación, que se manifiesta en el espectro electromagnético, comprende una variedad de ondas electromagnéticas con diferentes longitudes de onda. En particular, la luz visible para la vista humana se sitúa entre los 400 nm y 700 nm en el espectro electromagnético, y se conoce como radiación activa de la fotosíntesis (De las Rivas, 2008). Cuando esta luz incide sobre los cloroplastos, los pigmentos dentro de ellos, como la clorofila, capturan ciertas longitudes de onda y reflejan otras, lo que explica el color verde de las hojas.

Según Karp (2009), los pigmentos en los cloroplastos son compuestos que absorben longitudes de onda específicas. Por ejemplo, los carotenoides absorben luz en el rango del azul y verde, lo que les permite reflejar colores amarillos, naranjas y rojos. La absorción de la clorofila es notablemente baja entre 500 y 550 nm, correspondiente al color verde. Este fenómeno no solo ilustra la razón detrás del color de los pigmentos, sino que también demuestra que la energía utilizada en la fotosíntesis se de las longitudes de onda que estos pigmentos absorben.

Ilustración 3. Representación gráfica de la luz en las clorofilas A y B y los carotenos.



Nota. Fuente: Khan Academy.

Cuando la luz incide sobre los cloroplastos, provoca la excitación de los electrones en las moléculas de clorofila, iniciando una cadena de reacciones químicas en la fase luminosa de la fotosíntesis. En este proceso, que ocurre en las membranas de los tilacoides dentro de los cloroplastos, se genera ATP y NADPH, moléculas que almacenan energía y son esenciales para las reacciones de la fase oscura (De las Rivas, 2008). Además, investigaciones recientes han revelado que la luz estimula la biogénesis de cloroplastos, lo que implica que, en condiciones óptimas de luz, estos organelos pueden aumentar su número y eficiencia, mejorando así la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis (Yoshida et al., 2013).

Los hallazgos de Ingenhousz orientaron las investigaciones sobre los mecanismos de las plantas, especialmente en relación con las estructuras verdes asociadas a su actividad fisiológica (Ingenhousz, 1779). Por ello, los cloroplastos son fundamentales en la transformación del agua y el dióxido de carbono durante el proceso la fotosíntesis.

En los cloroplastos se localizan los pigmentos, y estos se dividen en dos categorías según su solubilidad: aquellos solubles en agua, como las antocianinas y antoxantinas presentes en el jugo vacuolar; y los solubles en solventes orgánicos, que incluyen las clorofilas a y b y los carotenoides (rojos, naranjas y amarillos) localizados en las granas y tilacoides de los cloroplastos (Arnon, 1949).

Los pigmentos vegetales tienen capacidad de captar la energía luminosa y, a través de la fotosíntesis, convertirla en energía química. Además, se diferencian en su composición, estructura molecular y biogénesis, lo que genera diversas propiedades. Por ejemplo, los distintos tipos de clorofilas que se presentan en las estructuras fotosintéticas reflejan su

capacidad de adaptarse para aprovechar la energía luminosa en variados entornos (Arnon, 1949).

El color de los pigmentos está relacionado con su capacidad de absorber luz. Las plantas de color verde, por ejemplo, deben su color a la presencia de clorofila a y b, que capturan luz en el espectro azul y rojo, reflejando la luz verde (Arnon, 1949).

En estos términos, las interacciones de color, temperatura, agua, aire, entre otros elementos, decantan en la complejidad del estudio sobre la fotosíntesis. De acuerdo con esto, los elementos que la constituyen deben ser estudiados y experimentados, con todo lo cual se logre obtener un mayor acercamiento a las teorías que durante más de 300 años han aportado al estudio sobre esta temática, refutando lo elementos planteados, al igual que reforzando los que han dado sentido a la comprensión del proceso de la fotosíntesis.

CAPÍTULO IV Actividades Experimentales

La actividad experimental aquí descrita se sustenta en la curiosidad científica que impulsó a algunos de los investigadores pioneros en la fotosíntesis, como Jan Ingenhousz y Senebier quienes, mediante simples observaciones, lograron abrir el camino hacia la comprensión de los procesos bioquímicos fundamentales que permiten la vida en la tierra. En particular, Ingenhousz fue un precursor en demostrar que la luz solar juega un papel crucial en la producción de oxígeno por parte de las plantas. Este punto de partida histórico inspiró una serie de interrogantes que hoy en día siguen vigentes.

Al indagar los escritos y experimentos de Ingenhousz (1779) y Senebier (1788), se plantean una serie de preguntas que sirvieron como marco de referencia para el desarrollo de esta actividad experimental. Entre ellas, se destacan: *¿Cómo influye la calidad de la luz (en términos de su longitud de onda) en la eficiencia fotosintética de las plantas acuáticas? ¿Existe una relación directa entre la luz y la producción de oxígeno? ¿Podrían existir diferencias notables en la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis dependiendo del color de la luz utilizada?* Estas preguntas, de carácter fundamental, son las que dan forma a la experimentación que se describe en este trabajo, permitiendo un análisis más riguroso de los factores que interactúan en la fotosíntesis. Buscan examinar el conocimiento establecido bajo nuevas condiciones experimentales, utilizando plantas como Elodea, cuya capacidad de liberar oxígeno al estar sumergida en agua es fácilmente observable. Sin embargo, la experimentación que aquí se plantea busca ir más allá de las observaciones tradicionales y explorar el impacto diferencial que distintos colores de luz roja, azul, verde, amarilla, blanca y natural tienen sobre la actividad fotosintética.

Por lo tanto, la actividad experimental, más allá de la simple verificación de conceptos científicos, se centra en la construcción del conocimiento y la ampliación de la experiencia de los estudiantes, como lo señalan Malagón et al. (2011). En lugar de reproducir observaciones previas, este trabajo busca generar una comprensión del fenómeno de la fotosíntesis, promoviendo nuevas conexiones conceptuales. En esta profundización, la experimentación sobre los efectos de los distintos colores de la luz en la fotosíntesis no se limita a replicar estudios anteriores, sino que explora de manera crítica cómo diferentes condiciones de luz influyen en el proceso fotosintético, destacando la importancia de la experimentación como herramienta pedagógica para comprender y formalizar fenómenos científicos (Malagón et al., 2011).

La metodología adoptada, basada en un control riguroso de las variables experimentales, no busca replicar los principios descubiertos por Ingenhousz, sino profundizar en los mecanismos por los cuales la luz influye en la producción de oxígeno.

El diseño de la actividad experimental consiste en la exposición de la planta *Elodea* a diferentes tipos de luz y la observación de su respuesta en términos de producción de oxígeno. Al observar y registrar la producción de oxígeno bajo diferentes condiciones lumínicas, se busca determinar si existen diferencias significativas en el comportamiento fotosintético de la planta. Este proceso de observación controlada, dividido en ocho momentos de controles, permite una comparación de cada tipo de luz.

El desarrollo de experimentación y observación del fenómeno presentado, en el presente trabajo, se constituye mediante el análisis y la descripción de 8 momentos de observación,

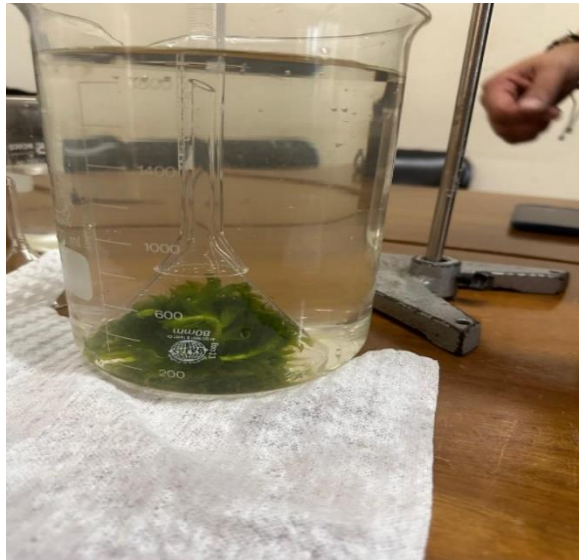
los cuales se van a denominar como 8 controles de la planta de elodea en la condición de las siguientes luces y los siguientes elementos:

- Verde
- Azul
- Roja
- Blanca
- Amarilla
- Luz natural
- Agua

- ✓ Luz: Al variar la intensidad o la cantidad de luz, se puede observar cómo afecta la tasa de fotosíntesis. La Elodea, como muchas otras plantas acuáticas, realiza fotosíntesis y libera oxígeno. Al cambiar la luz, se puede comparar la producción de burbujas de oxígeno, lo cual es un indicador directo de la actividad fotosintética.
- ✓ Agua: La calidad y composición del agua también pueden influir en la fotosíntesis. Cambios en los niveles de CO₂ disuelto, nutrientes o el pH del agua pueden afectar la eficiencia fotosintética de la planta.

Se prepara la planta en un beaker con aproximadamente 600ml de agua y la planta de elodea en un embudo, 5 gr, y por el capilar del embudo se ubica un tubo de ensayo para evidenciar la producción de oxígeno. Con anticipación, se prepararon las cajas oscuras de cartón, pintadas con aerosol el interior, con las diferentes luces led y una vez montado todas las cajas con las luces y los beakers con la planta adentro, se conecta a la corriente eléctrica.

Ilustración 4. Modelo montaje experimental con la planta Elodea.



Nota. Fuente: Fotografía propia

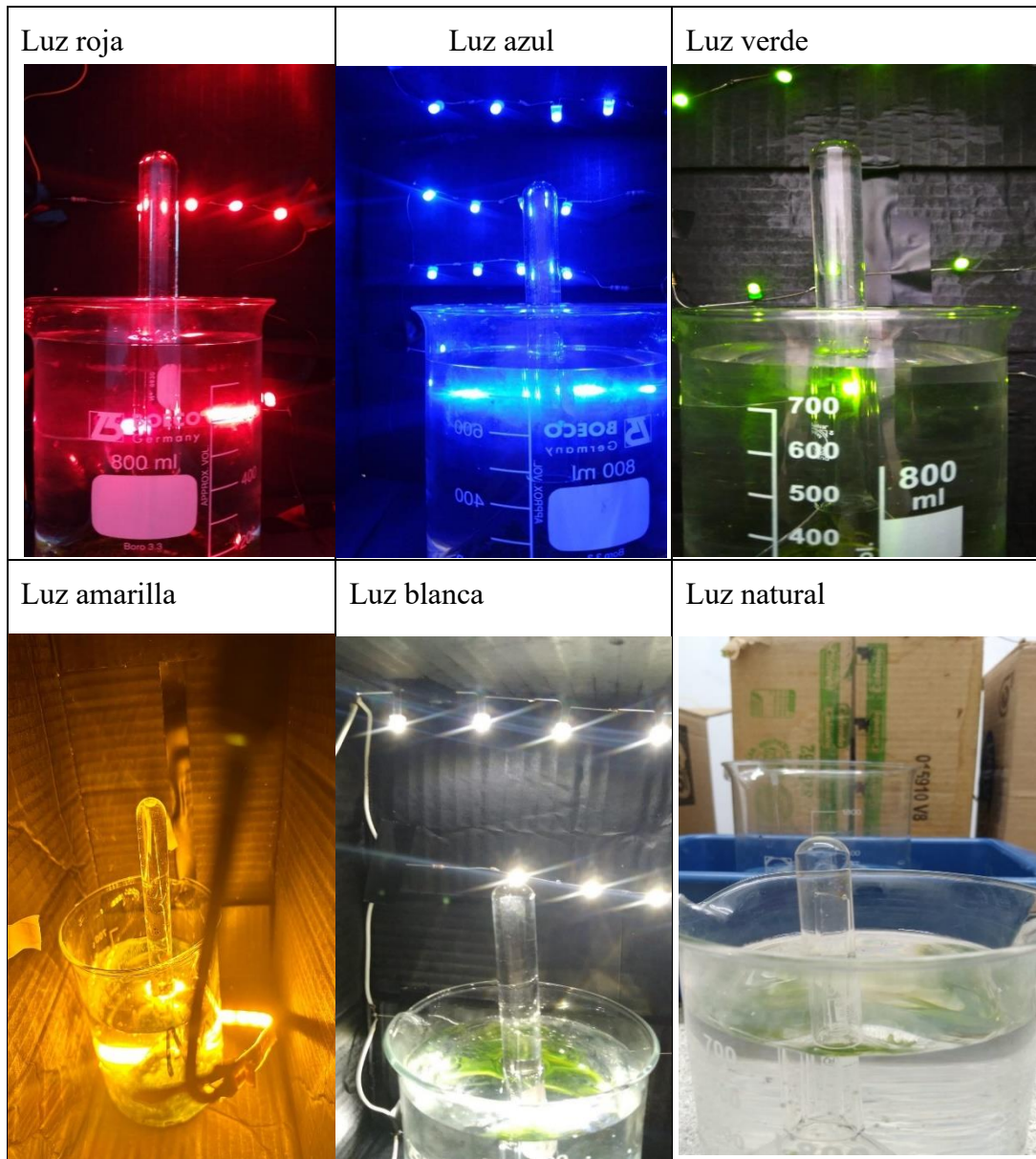
Las observaciones se realizan cada dos días:

➤ Primer control:

1. Luz Roja: la planta genera unas burbujas de aire en muy poca cantidad
2. Luz Azul: la planta genera unas burbujas de aire en muy poca cantidad
3. Luz verde: la planta genera unas burbujas de aire en muy poca cantidad
4. Luz Amarilla: la planta genera unas burbujas de aire en mayor cantidad

5. Luz Blanca: la planta genera unas burbujas de aire en muy poca cantidad
6. Luz de control (natural): la planta genera unas burbujas de aire en muy poca cantidad

Ilustración 5. Primera observación, se puede evidenciar las diferentes longitudes de onda.



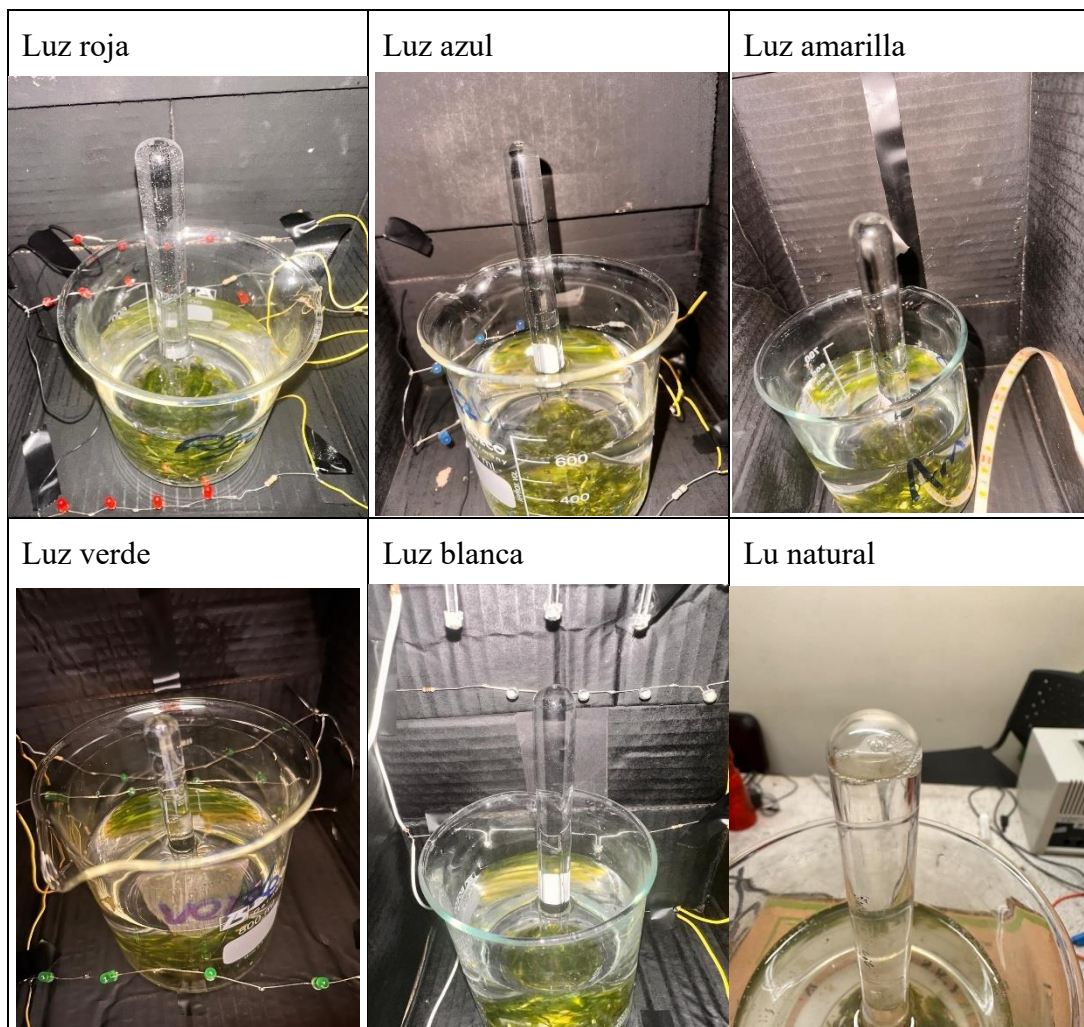
Nota. Fuente: fotografía propia.

➤ Segundo control:

1. Luz Roja: la producción de burbujas va disminuyendo
2. Luz Azul: la producción de burbujas va disminuyendo

3. Luz verde: la producción de burbujas va disminuyendo
4. Luz Amarilla: la planta produce mayor cantidad de burbujas
5. Luz Blanca: la producción de burbujas aumenta considerablemente notándose en la parte posterior del tubo de ensayo
6. Luz de control (natural): la producción de burbujas aumenta considerablemente en comparación al resto de luces.

Ilustración 6. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Segundo control.

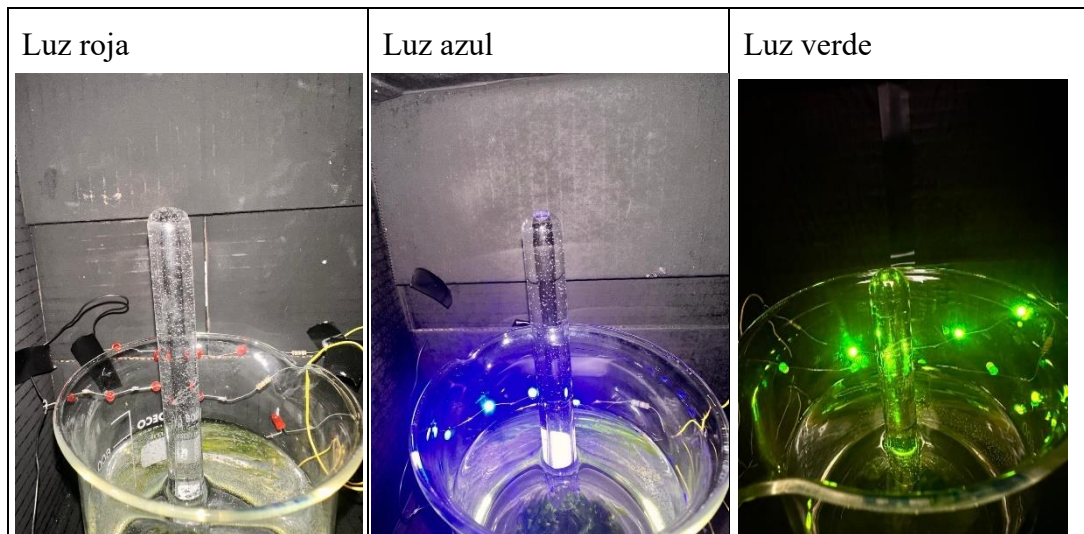


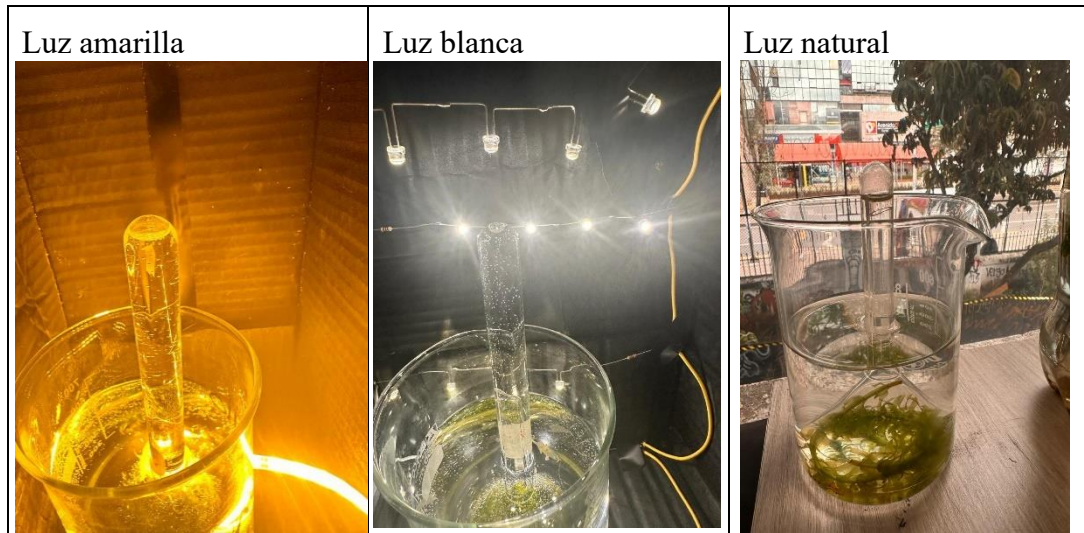
Nota. Fuente: fotografía propia.

➤ Tercer Control:

1. Luz Roja: No se evidencia producción de oxígeno y la cantidad de burbujas disminuye
2. Luz Azul: No se evidencia producción de oxígeno y la cantidad de burbujas disminuye
3. Luz verde: ya no se evidencia ninguna burbuja de oxígeno
4. Luz Amarilla: la planta sigue produciendo burbujas que se puede evidenciar en la parte superior del tubo de ensayo
5. Luz Blanca: la producción de burbujas aumenta considerablemente notándose en la parte posterior del tubo de ensayo
6. Luz de control (natural): la producción de burbujas aumenta considerablemente en comparación al resto de luces, generando un espacio en la parte superior del tubo de ensayo.

Ilustración 7. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Tercer control.



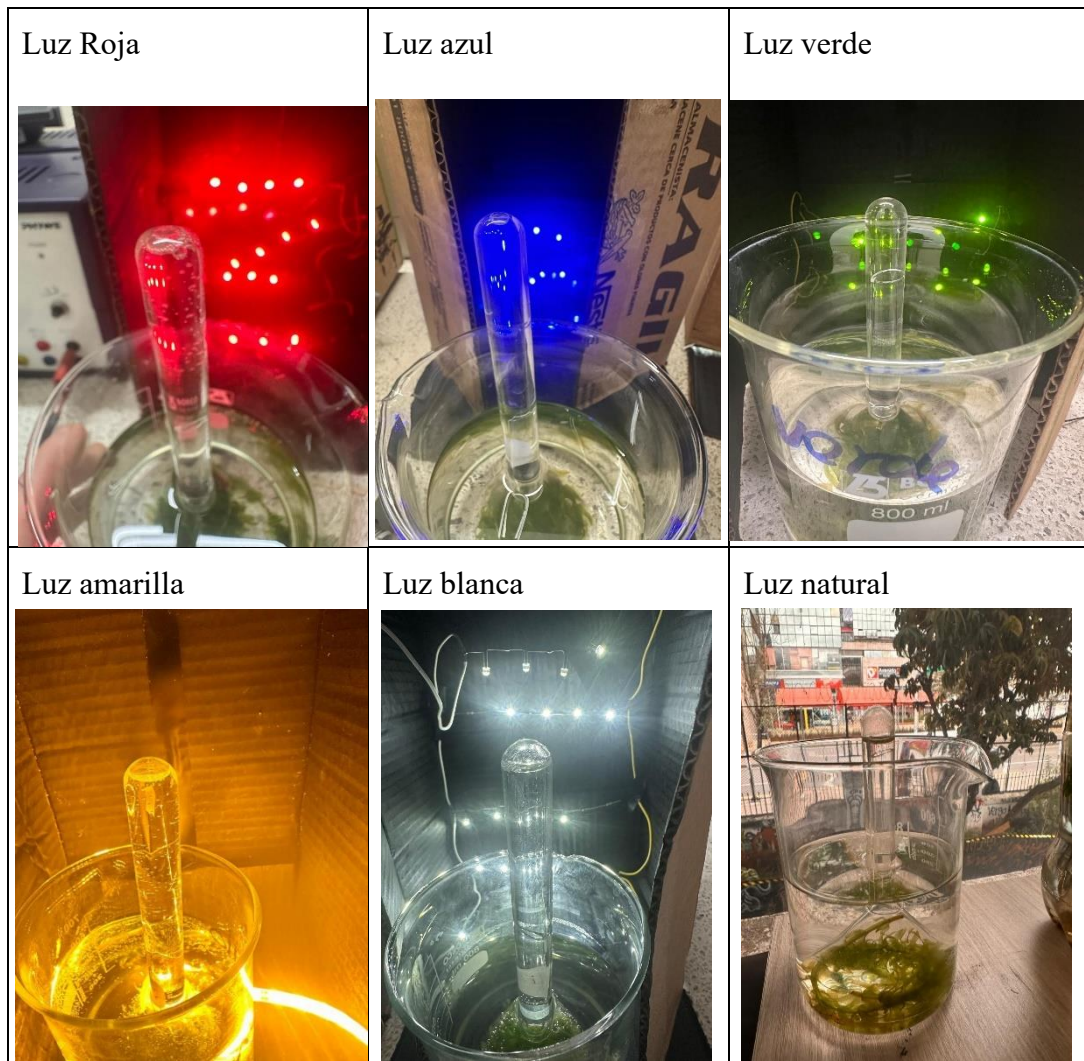


Nota. Fuente: fotografía propia.

➤ Cuarto Control:

1. Luz Roja: No se evidencia producción de oxígeno y la cantidad de burbujas desaparece
2. Luz Azul: No se evidencia producción de oxígeno y la cantidad de burbujas desaparece
3. Luz verde: ya no se evidencia ninguna burbuja de oxígeno
4. Luz Amarilla: la planta sigue produciendo burbujas que se puede evidenciar en la parte superior del tubo de ensayo
5. Luz Blanca: la producción de burbujas aumenta considerablemente notándose en la parte posterior del tubo de ensayo
6. Luz de control (natural): la producción de burbujas aumenta considerablemente en comparación al resto de luces, generando un espacio en la parte superior del tubo de ensayo.

Ilustración 8. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Cuarto control

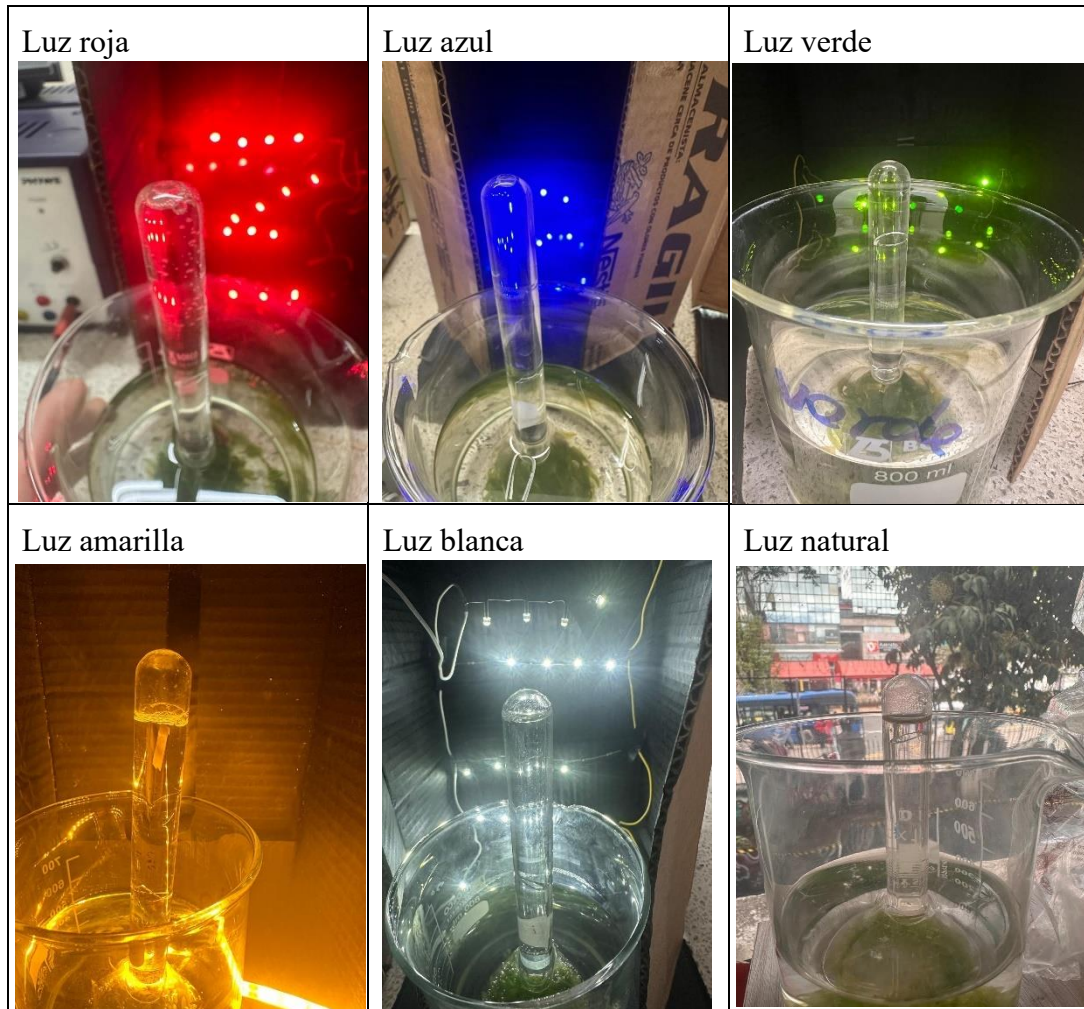


Nota. Fuente: fotografía propia.

➤ Quinto Control:

1. Luz Roja: No se evidencia producción de oxígeno
2. Luz Azul: No se evidencia producción de oxígeno
3. Luz verde: no se evidencia ninguna burbuja de oxígeno
4. Luz Amarilla: la planta sigue produciendo burbujas, pero en muy pocas cantidades
5. Luz Blanca: la planta sigue produciendo burbujas de oxígeno
6. Luz de control (natural): la planta sigue produciendo burbujas de oxígeno.

Ilustración 9. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Quinto control.

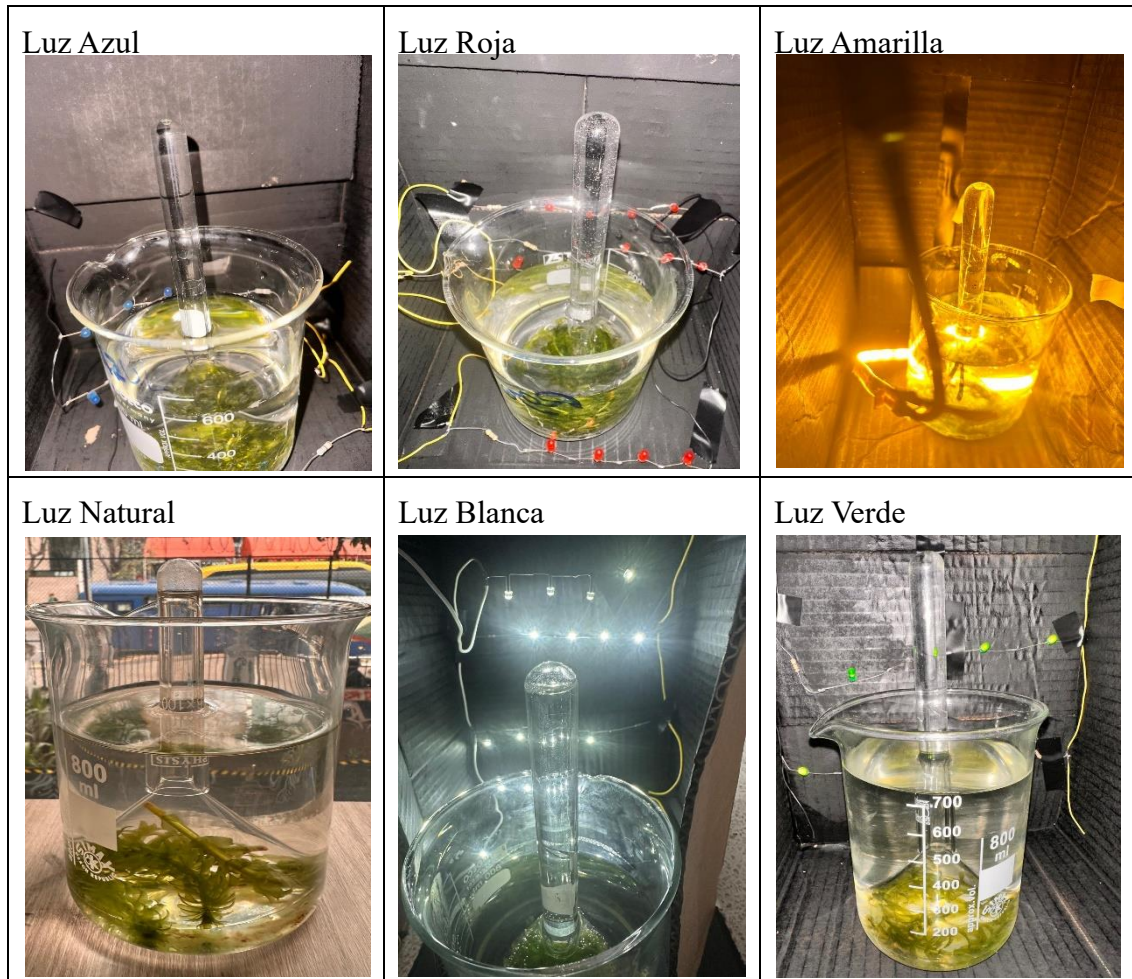


Nota. Fuente: fotografía propia.

➤ Sexto Control:

1. Luz Roja: No se evidencia producción de oxígeno
2. Luz Azul: No se evidencia producción de oxígeno
3. Luz verde: no se evidencia ninguna burbuja de oxígeno
4. Luz Amarilla: se evidencia muy poca producción de oxígeno
5. Luz Blanca: la planta sigue produciendo burbujas de oxígeno
6. Luz de control (natural): la planta sigue produciendo burbujas de oxígeno

Ilustración 10. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. Séptimo control.



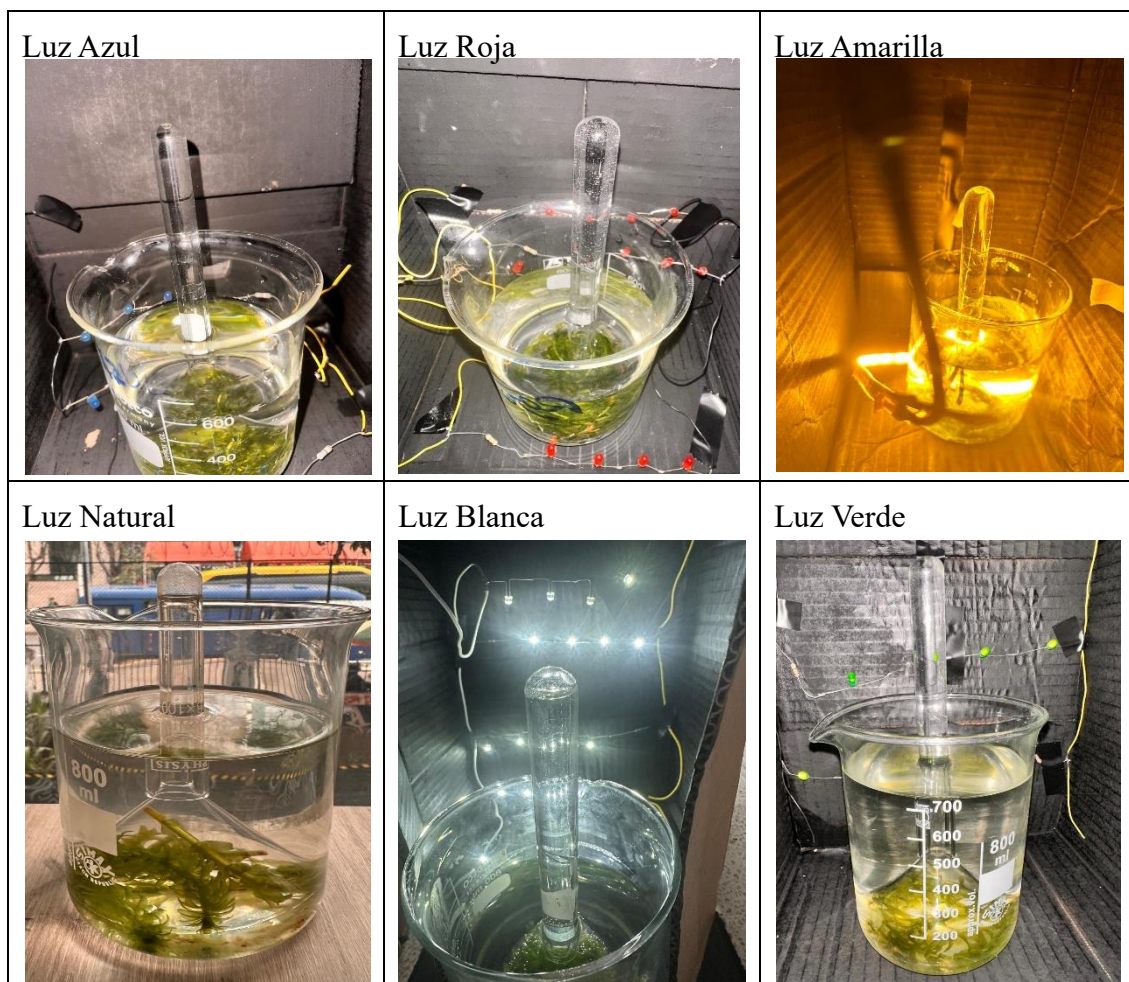
Nota. Fuente: fotografía propia.

➤ Séptimo control:

1. Luz Roja: No se evidencia producción de oxígeno
2. Luz Azul: No se evidencia producción de oxígeno
3. Luz verde: no se evidencia ninguna burbuja de oxígeno
4. Luz Amarilla: se evidencia muy poca producción de oxígeno
5. Luz Blanca: la planta sigue produciendo burbujas de oxígeno
6. Luz de control (natural): la planta sigue produciendo burbujas de oxígeno, mayor cantidad que la luz blanca.

En el Octavo control no hubo cambios significativos, pero si me dispuse a desmontar el experimento: todas las plantas, en las diferentes luces, estaban en buenas condiciones sin daño alguno a excepción el de la luz verde que tenía un aspecto de moho, amarillento que me hacía pensar que estaba muerta la planta y desprendía un olor a podredumbre. A continuación, se presentan las imágenes que ilustran los resultados obtenidos.

Ilustración 11. Implementación de la actividad experimental, las plantas en las distintas longitudes de onda. El análisis en el siguiente punto.



Nota. Fuente: fotografía propia.

4.1 Análisis de la Experimentación

El estudio de las contribuciones de Ingenhousz y Senebier resulta determinante para contextualizar los resultados obtenidos en el experimento sobre la influencia de la luz y el agua en la producción de oxígeno en la planta *Elodea*. En primer lugar, el aporte de Ingenhousz, quien demostró que las plantas solo purifican el aire en presencia de luz y agua, resuena de manera directa con los hallazgos de mi experimento, en el que se observa un aumento significativo en la producción de oxígeno bajo condiciones de luz (Ingenhousz, 1779). Sin embargo, es necesario señalar que, si bien su enfoque incluye el agua como factor necesario para la fotosíntesis, su análisis se centra principalmente en la función de la luz. Esto permite reflexionar sobre la importancia del agua en el contexto experimental, ya que actúa como elemento imprescindible para la producción de oxígeno en la fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2010).

Por otro lado, la relevancia de Senebier, al resaltar el papel del dióxido de carbono en la fotosíntesis, se encuentra en una relación secundaria con mi experimento, ya que no fue considerado como un factor primario en el análisis. Aunque Senebier reconoció la luz como un elemento esencial en la fotosíntesis, mi trabajo se ha centrado más en la influencia de la luz y el agua en la producción de oxígeno, dejando el dióxido de carbono como un factor que, aunque importante, no fue el foco central en este estudio (Senebier, 1788). Esta distinción es importante, ya que permite enfocar la experimentación en los factores más inmediatos que influyen en el proceso fotosintético en la planta *Elodea*, sin relegar el papel del dióxido de carbono (Sage, 2020).

Dicho esto, la luz juega un papel fundamental en la variabilidad de la producción de oxígeno, lo cual es evidente cuando se analizan los diferentes longitudes de onda y su interacción con los pigmentos fotosintéticos. La producción de gas varía significativamente entre los diferentes colores de luz debido a la capacidad para absorber determinadas longitudes de onda por los pigmentos fotosintéticos presentes en los cloroplastos. En el centro de esta variación se encuentran las clorofilas, principalmente la clorofila a y la clorofila b, que son los principales pigmentos responsables de la captura de luz para la fotosíntesis. Estas clorofilas absorben preferentemente luz en las regiones del espectro correspondientes al rojo y al azul, mientras que reflejan la luz verde, razón por la cual las plantas tienden a verse verdes. Por lo tanto, como se observó en el experimento, las luces roja y azul deberían haber promovido, en teoría, una mayor tasa fotosintética y, consecuentemente, una mayor producción de oxígeno.

A nivel estructural, los cloroplastos, orgánulos clave en el proceso fotosintético, están organizados para optimizar la absorción de luz y la conversión de energía lumínica en energía química. Dentro de los cloroplastos se encuentran membranas llamadas tilacoides, que son donde se encuentran los complejos de pigmentos fotosintéticos, como los fotosistemas I y II. Estos fotosistemas están integrados por clorofilas y otros pigmentos complementarios que capturan la luz y canalizan la energía hacia los centros de reacción (Taiz y Zeiger, 2010).

Cuando se trata de la luz roja y azul, los fotosistemas son activados de manera más eficiente porque estos colores corresponden a las longitudes de onda óptimas que los centros de reacción de los fotosistemas absorben, permitiendo que los electrones se exciten y se desplacen a lo largo de la cadena de transporte de electrones. Esto genera un gradiente de protones que promueve la producción de ATP y NADPH, los cuales son utilizados en la fase

oscura para la síntesis de azúcares. Como subproducto de este proceso, se libera oxígeno. La correlación observada en el experimento entre la mayor cantidad de burbujas de oxígeno bajo la luz roja y azul es consistente con el hecho de que los fotosistemas I y II absorben principalmente estas longitudes de onda (Sage, 2020).

En el caso de la luz blanca, que incluye una mezcla de diferentes longitudes de onda, la planta también pudo realizar la fotosíntesis, aunque no de forma tan eficiente como con la luz roja o azul. La luz blanca contiene todas las longitudes de onda visibles, lo que permite la activación de los fotosistemas, pero también puede incluir componentes no útiles o menos eficientes para la fotosíntesis. Sin embargo, como se observó en los controles con luz blanca, la planta mostró una producción constante de oxígeno, lo que indica que, aunque no sea tan selectiva como la luz roja o azul, la luz blanca todavía favorece el proceso fotosintético al proporcionar suficiente energía a los cloroplastos.

Por otro lado, la luz verde, al ser mayormente reflejada por la planta y no absorbida de manera significativa por los pigmentos fotosintéticos, mostró un comportamiento diferente. En este caso, la producción de oxígeno fue baja desde el principio y eventualmente cesó, lo que concuerda con la limitada absorción de esta luz por la clorofila. En los cloroplastos, los centros de reacción fotosintéticos no reciben suficiente energía de la luz verde, lo que reduce la eficiencia fotosintética y, como resultado, la producción de oxígeno.

Además, en los controles posteriores, se observó una disminución general en la producción de oxígeno bajo la luz roja, azul y verde, lo que podría estar relacionado con varios factores. Uno de los más probables es la saturación o el estrés de la planta debido a la prolongada exposición a condiciones lumínicas específicas, lo que podría haber afectado negativamente

la capacidad fotosintética. También es posible que, con el tiempo, los recursos disponibles para la fotosíntesis, como CO₂ o nutrientes en el agua, se hayan agotado, afectando la eficiencia del proceso.

La aparición de moho y la descomposición de la planta expuesta a luz verde en el octavo control sugiere que esta condición lumínica generó un ambiente adverso. La baja tasa de fotosíntesis bajo luz verde, junto con un posible almacenamiento de productos de desecho y la falta de producción de oxígeno, parece haber llevado a un estrés excesivo en la planta, culminando en su deterioro. Este deterioro puede haber sido acelerado por la incapacidad de la planta para realizar fotosíntesis de manera efectiva, lo que compromete su salud y viabilidad a largo plazo. Este resultado abre la posibilidad de discutir cómo las plantas responden de manera diferencial a los espectros de luz.

La planta expuesta a luz amarilla mostró una respuesta interesante, pero también reveló ciertos aspectos que merecen ser reflexionados. En las primeras etapas del experimento, la planta comenzó a generar burbujas de oxígeno en mayor cantidad en comparación con otras condiciones lumínicas, lo que sugeriría que la fotosíntesis estaba ocurriendo de manera relativamente eficiente. Sin embargo, a medida que avanzaron los controles, la producción de oxígeno disminuyó progresivamente, aunque a un ritmo más lento que en las condiciones de luz roja, azul y verde. Esta disminución gradual en la producción de oxígeno bajo luz amarilla podría explicarse por la falta de una absorción óptima de las longitudes de onda específicas por parte de los pigmentos fotosintéticos, lo que limitaría la eficiencia del proceso fotosintético.

Es relevante notar que la luz amarilla, al igual que la blanca, incluye una mezcla de diferentes longitudes de onda, pero de una manera diferente a la luz blanca, lo que podría haber permitido cierta activación de los fotosistemas, aunque de forma no tan eficiente como la luz roja o azul. Sin embargo, la luz amarilla no ofreció el mismo nivel de activación que las longitudes de onda óptimas para la clorofila, como lo son la luz natural y blanca, lo que se refleja en la menor cantidad de oxígeno generado a lo largo del experimento. Además, la tendencia a disminuir la producción de oxígeno con el tiempo en las condiciones de luz amarilla puede estar relacionada con el agotamiento de los recursos disponibles para la fotosíntesis, como CO_2 y nutrientes en el agua, afectando la capacidad fotosintética de la planta.

A pesar de que la planta bajo luz amarilla presentó una mejor tasa de fotosíntesis en las primeras etapas del experimento, su rendimiento general no fue tan sostenible como el de las plantas bajo luz blanca o natural. Esto refuerza la idea de que las plantas requieren una variedad de longitudes de onda, como las presentes en la luz blanca, para mantener una tasa de fotosíntesis constante y equilibrada. En este sentido, la luz amarilla no parece ser tan adecuada para la fotosíntesis a largo plazo, ya que, a pesar de generar oxígeno, no puede sostener de manera eficiente la producción continua de este gas vital.

Además, en los controles finales, se observó que la planta bajo aún generaba algunas burbujas de oxígeno, pero en menor cantidad. Este patrón sugiere que, aunque la luz amarilla no es completamente ineficaz, la eficiencia fotosintética disminuye a medida que avanza el tiempo, lo que podría ser un indicativo de que la planta está alcanzando una especie de saturación en cuanto a la cantidad de luz que puede absorber y utilizar eficazmente.

En contraste, las plantas bajo luz blanca y luz natural mostraron una producción de oxígeno constante y una mejor condición general. Esto indica que estos tipos de luz, al proporcionar una gama más completa de longitudes de onda, permiten una activación más equilibrada de los fotosistemas y, en consecuencia, una tasa de fotosíntesis más sostenida. Estos resultados subrayan la importancia de la diversidad de longitudes de onda en la luz para mantener la salud y el funcionamiento fotosintético de las plantas.

En este sentido surgen algunas interrogantes sobre los efectos directos de la luz en las plantas de *Elodea* durante la experimentación en las diferentes longitudes de ondas, ***¿cómo influye la calidad de luz en la actividad de los pigmentos fotosintéticos en los cloroplastos de *Elodea*?*** Para abordar esta cuestión, se llevó a cabo un experimento utilizando la técnica de la cromatografía con el fin de ver como los pigmentos presentes en los cloroplastos responden a las diferentes condiciones lumínicas (natural, blanca, roja, azul, verde, amarilla) y cómo se refleja esto en la disposición de los pigmentos en la cromatografía. Este proceso permitirá comprender mejor la función de los cloroplastos en la absorción de las distintas longitudes de onda.

Para ello se utilizó:

- Planta de *Elodea* macerada empleada en las distintas longitudes de onda (natural, blanca, roja, azul, verde, amarilla)
- Papel fino de cromatografía
- Alcohol Etílico
- Mortero
- Vaso precipitado

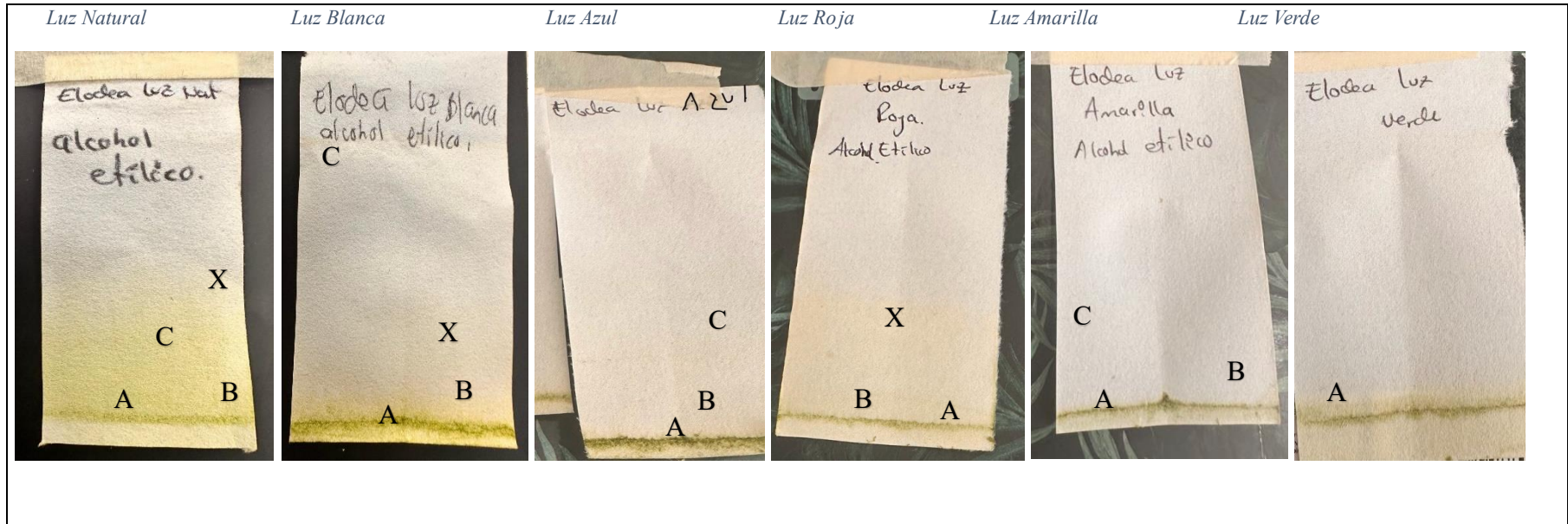
- Palillo
- Papel aluminio

Procedimiento para la Cromatografía:

- Se coloca la planta de Elodea expuesta a las diferentes longitudes de onda en el mortero, se añade 10ml de alcohol etílico de 70% y se procede a macerar la planta con movimientos circulares hasta obtener una mezcla casi homogénea que facilite la extracción de los pigmentos.
- Se prepara el papel cromatográfico con una longitud de 10cm en uno de los extremos del papel cromatográfico, se sujeta con el palillo para un mejor procedimiento en el momento de sumergir en el vaso de precipitado sin que toque las paredes.
- Se cubre con papel aluminio el vaso precipitado un determinado tiempo (15 minutos)
- Se introduce 1cm el papel cromatográfico en el vaso precipitado hasta que la muestra suba hasta una altura determinada. Este procedimiento se realiza con todas las muestras de plantas de las diferentes longitudes de onda.

Una vez finalizado el proceso, se coloca la muestra en un sitio favorable para su secado completo. Seguidamente, se procede al análisis de los resultados con relación al primer experimento. A continuación, se presentan las imágenes correspondientes a los resultados obtenidos.

Ilustración 12. Las referencias descritas con las letras “a” corresponden a las clorofilas A, “b” a las clorofilas B, “c” a los carotenoides y “x” a las xantofilas, según las coloraciones observadas en el papel cromatográfico. Las manchas de color verde oscuro representan a las clorofilas A, las de color verde claro corresponden a las clorofilas B, las manchas naranjas a los carotenoides y las manchas amarillas a las xantofilas.



Nota. Fuente: fotografía propia.

Tabla 1. Análisis de cromatografía.

Tipos de luz	Análisis de los resultados
Luz Natural	<p>De acuerdo al resultado, la luz natural cubre un amplio espectro de longitudes de onda, incluyendo las zonas del espectro que son absorbidos, tanto por las clorofilas A y B, los carotenoides y las xantofilas. El hecho de que solo se haya separado las clorofilas, con una menor participación de los pigmentos accesorios (carotenoides y xantofilas). Esto puede darse a una regulación natural de la planta, donde la parte de la fotosíntesis ocurre en presencia de luz visible que la clorofila absorbe, es decir, los carotenoides y xantofilas se ven con más claridad en el papel cromatográfico ya que estos impiden la fotooxidación en los cloroplastos, una condición que ocurre cuando hay demasiada luz y los cloroplastos no pueden manejarla adecuadamente (Demmig-Adams et al.,1996)</p> <p>Si bien la luz natural es ideal para la fotosíntesis, el experimento revela una limitada presencia de los carotenoides. Esto puede significar que, aunque la planta está aprovechando la luz solar, su capacidad para absorber luz en longitudes de onda menos accesible (como el rango verde-amarillo) podría estar restringida. Esto plantea hipótesis sobre cómo los diferentes pigmentos fotosintéticos se activan bajo condiciones naturales, y si la metodología empleada es adecuada para captar toda la complejidad del sistema de pigmentos de la planta.</p>
Luz Blanca	<p>En la cromatografía de Elodea bajo la luz blanca, se observa una banda similar, lo que indica que las clorofilas A y B también fueron activadas en esta condición de luz. La luz blanca artificial, aunque no es exactamente igual a la luz natural, contiene longitudes de onda suficientes para activar la fotosíntesis, al menos para los pigmentos dominantes como las clorofilas A y B. La ausencia de otras bandas bien visibles se deduce que los pigmentos accesorios (carotenoides y xantofilas), no se activaron en cantidades significativas o no se extrajeron correctamente. Es posible que la calidad de la luz blanca artificial no sea óptima para activar estos pigmentos secundarios, que suelen requerir mucho más luz o condición específica de estrés u otra circunstancia inapropiada para la planta para su expresión visible.</p>

Luz Azul	<p>En el cromatograma correspondiente a la Elodea bajo la luz azul, se observa una única banda de pigmentación, verde oscura y verde clara, en la parte inferior del papel. Esta línea de color verde oscura y clara indica que los pigmentos principales son las clorofilas A y B.</p> <p>Los cloroplastos, como orgánulos adaptivos, ajustan la cantidad de pigmentos en función de las condiciones lumínicas a las que se enfrentan. Bajo la luz azul, se esperaría que, además de las clorofilas A y B, los carotenoides y xantofilas tuvieran un rol importante. En este caso, la poca diversidad de pigmentos podría reflejar que los cloroplastos de la Elodea no han necesitado modificar su estructura interna para enfrentar un entorno de luz azul, lo que podría deberse a que esta longitud de onda es suficiente para mantener el proceso fotosintético sin generar un daño por la acumulación de energía lumínica (Taiz & Zeiger, 2010)</p>
Luz Roja	<p>La cromatografía realizada, de la planta Elodea que había sido expuesta a la luz roja, ha evidenciado la presencia de la clorofila A. La luz roja, una porción del espectro visible, es absorbida principalmente por la clorofila, el pigmento más abundante en las plantas. La presencia de clorofila A y B indica que los cloroplastos están equipados para realizar la fotosíntesis de manera efectiva. Cuando los cloroplastos reciben luz roja (la más eficaz para la fotosíntesis), los pigmentos absorben esta luz y excitan los electrones en los puntos de reacción de los fotosistemas. Este proceso genera la energía necesaria para producir ATP y NADPH, que son esenciales en la fase oscura. Sin embargo, la presencia de otros pigmentos (carotenoides y xantofilas), supone que la planta ha estado en un estado de estrés, falta de nutrientes o de otra condición que no permitió la eficiencia fotosintética en esta longitud de onda (Demmig-Adams et al.,1996)</p>
Luz Amarilla	<p>La luz amarilla se encuentra en un rango de longitud de onda que es menos eficiente para la fotosíntesis. Los cloroplastos, a través de sus pigmentos, A y B, absorben mejor en los rangos de luz roja y azul. La</p>

	<p>luz amarilla, por su parte, es absorbida de manera menos eficiente y esto se podría vincular con la falta de producción eficiente de energía fotosintética bajo esta luz.</p> <p>En la cromatografía se observa que hubo poca actividad fotosintética, sin embargo, en el experimento sobre las longitudes de onda, se evidenció una producción considerable de oxígeno y esto se podría dar ya que ciertos pigmentos se pueden activar de manera limitada. Esto podría haber sido suficiente para mantener una tasa baja pero continua de fotosíntesis, suficiente disponibilidad de CO₂ y otras condiciones lo que podría explicar la producción de oxígeno.</p>
Luz Verde	<p>La cromatografía refleja la limitada respuesta de los cloroplastos a la luz verde, que resulta en una baja separación de los pigmentos. La única banda visible, verde claro, presume que las clorofilas A y B fueron los únicos pigmentos presentes en una cantidad mínima, mientras que los pigmentos accesorios, carotenoides y xantofilas, no se activaron o estaban presentes en muy poca cantidad debido a la ineficacia de la luz verde para ser absorbida y utilizada en la fotosíntesis.</p>

Nota. Elaboración propia.

A lo largo del proceso experimental y la construcción de explicaciones sobre la interacción de la luz, el agua y los cloroplastos en la fotosíntesis, emergen reflexiones que enriquecen la comprensión de este fenómeno. Las actividades realizadas, especialmente aquellas centradas en la manipulación de diferentes fuentes de luz y el análisis cromatográfico, no solo permitieron una aproximación práctica a estos procesos, sino que también destacaron las complejidades inherentes a su enseñanza. El análisis de los pigmentos y su respuesta ante distintas longitudes de onda de luz evidenció la importancia de entender los mecanismos subyacentes, pero también subrayó las limitaciones de los métodos utilizados para ilustrar la totalidad del fenómeno. Este proceso, a su vez, enriqueció la comprensión de los aportes históricos de figuras como Ingenhousz y Senebier, revelando cómo la ciencia es una construcción dinámica que se nutre tanto de experimentos como de interpretaciones críticas.

CAPÍTULO V Propuesta de Intervención de Aula

5.1 Contexto de Formulación de la Propuesta de Aula

La propuesta de aula titulada "**Detectives de la Luz: El Misterio de la Producción de Oxígeno**" nace como respuesta a una inquietud pedagógica sobre cómo mejorar la enseñanza en el Colegio Nacional Juan Ramón Dahlquist. La iniciativa busca abordar las dificultades que enfrentan el docente al enseñar estos temas y facilitar su comprensión en el aula mediante un enfoque más dinámico. La enseñanza de la fotosíntesis supone un desafío no menor, ya que los profesores deben encontrar maneras de llevar al aula esta información, altamente técnica y compleja, en experiencias de aprendizaje significativas para los estudiantes. Los docentes generan posibilidades para que los estudiantes comprendan y expliquen este proceso bioquímico que, aunque fundamental, resulta difícil de observar directamente. En este sentido, esta propuesta de aula busca abordar esa complejidad, dotando al docente de herramientas prácticas para facilitar el proceso de enseñanza.

La propuesta **Detectives de la Luz: El Misterio de la Producción de Oxígeno** se enmarca en la metodología de proyectos educativos, ya que su propósito es integrar aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje a través de actividades experimentales. La característica principal de un proyecto pedagógico es que se enfoca en problemas reales y promueve un aprendizaje activo. Los estudiantes no solo exploran los fundamentos de la fotosíntesis, sino que también participan activamente en experiencias prácticas que fomentan su capacidad para resolver problemas a través de la experimentación, desarrollando habilidades críticas y analíticas.

En el contexto educativo paraguayo, donde los desafíos incluyen la escasez de recursos didácticos y la necesidad de metodologías innovadoras que motiven a los estudiantes. El sistema educativo paraguayo valora cada vez más las metodologías activas y el aprendizaje significativo, por lo que Detectives de la Luz: El Misterio de la Producción de Oxígeno responde a estos desafíos.

Además, este proyecto se alinea con los planes y programas del Ministerio de Educación y Ciencias (MEC) del Paraguay, que fomentan la enseñanza de las ciencias mediante la experimentación. Las actividades propuestas no requieren de equipos costosos o infraestructura compleja, lo que las hace viables en contextos escolares con limitaciones de recursos.

A lo largo del proyecto, los estudiantes actúan como investigadores autónomos, siguiendo pistas y realizando diseños experimentales llegando a sus propias conclusiones sobre cómo la luz, el agua y los cloroplastos interactúan en el proceso fotosintético para la producción de oxígeno. Guiados por el maestro, quien facilita el proceso sin intervenir directamente, este enfoque fomenta no solo la comprensión de conceptos científicos, sino también el desarrollo de habilidades críticas, como la observación, el análisis y la formulación de hipótesis. El proyecto tiene como objetivo que los estudiantes aborden y analicen la fotosíntesis, no solo desde una perspectiva teórica, sino también mediante la experimentación directa con la planta *Elodea*, un organismo modelo ideal para observar la producción de oxígeno bajo diferentes condiciones de luz. Esta propuesta busca generar un aprendizaje significativo, en el que el maestro se sitúa como guía y así los estudiantes vayan construyendo el conocimiento a partir de la observación y el análisis experimental.

Este enfoque experimental se sustenta en un marco histórico que sitúa a los estudiantes en el contexto de las actividades experimentales realizados por científicos como Jan Ingenhousz y Senebier, quienes sentaron las bases del conocimiento moderno sobre el rol de la luz en la producción de oxígeno por las plantas. Ingenhousz demostró que este proceso dependía de la luz solar. Estos acontecimientos históricos no solo proporcionan un trasfondo enriquecedor, sino que también permiten a los estudiantes comprender cómo ha evolucionado la ciencia a través del método experimental.

El proyecto está diseñado específicamente para estudiantes del nivel medio de entre 14 y 15 años del Colegio Nacional Juan Ramón Dahlquist, que cursan el primer curso. En este rango de edad, los estudiantes están desarrollando un pensamiento crítico y reflexivo, lo que les permite abordar conceptos más complejos y llevar a cabo el diseño experimental. Por su nivel de escolaridad, los estudiantes ya cuentan con una base teórica en ciencias naturales en torno a la fotosíntesis, lo que facilita la introducción de la interacción entre luz, agua y cloroplastos en la fotosíntesis. La propuesta abarca un periodo de seis semanas, distribuidas en tres fases clave:

Fase 1: El Desafío de la Luz y la Oscuridad (Semanas 1-2)

En esta fase, los estudiantes mediante un juego de roles y en grupos de trabajo asumirán el papel de "detectives científicos" para investigar el efecto de la luz y la oscuridad en el fenómeno de la fotosíntesis. Para ello, utilizarán plantas de Elodea, lupas y diarios de laboratorio, en el que formularán hipótesis en torno a dicho fenómeno mediante la observación directa. En este sentido, los estudiantes contarán con la ayuda de material didáctico que incluye fichas con preguntas orientadoras. Por otra parte, en torno al fenómeno

de la fotosíntesis a través de pistas los estudiantes resolverán preguntas, “misterios” que les serán propuestos.

De esta manera se espera que los estudiantes logren resolver el "misterio" de cómo la luz, el agua y los cloroplastos interactúan en el fenómeno de la fotosíntesis para la producción de oxígeno.

Fase 2: Aproximación al contexto histórico y conceptual sobre el fenómeno de la fotosíntesis (Semanas 3-4)

En esta fase, los estudiantes se aproximarán a la naturaleza de las condiciones históricas que hicieron posible la emergencia del fenómeno de la fotosíntesis como un fenómeno clave. Esto con el fin de que se enuncie la producción científica como un proceso dinámico en el que confluyen contextos, desarrollos e intereses, que permiten aportar a la estructuración y conformación de la ciencia. En este sentido, como referentes teóricos se tendrá en cuenta el trabajo realizado por Jan Ingenhousz y Jean Senebier, quienes tuvieron injerencia inicial en el estudio de la producción de oxígeno por parte de las plantas en presencia de luz.

De esta manera, las primeras dos fases de esta propuesta pretenden promover en los estudiantes una visión práctica como contextual del fenómeno de la fotosíntesis, logrando que se aproximen a la comprensión no solo de los principios biológicos que lo sustentan, sino también de la historia y evolución del conocimiento científico relacionado.

Fase 3: Expo ciencias: Divulgación del misterio (Semanas 5-6)

En esta fase, los estudiantes se aproximan de manera análoga a la dimensión de la ciencia relacionada con la divulgación del conocimiento científico. Aquí, mediante exposiciones tipo

stand, los estudiantes socializarán a otros grupos las formas en que llegaron a resolver el misterio. De esta fase, se realizará un registro que permita identificar narrativas que los estudiantes enuncian en términos de la divulgación del conocimiento asociado a su misterio. Dichas narrativas se categorizarán y aportarán un marco de referencia aproximado sobre la forma en que los estudiantes argumentan y exponen el conocimiento encajando en marcos más amplios.

5.2 Organización de la Propuesta de Aula: Detectives de la Luz “El Misterio de la Producción de Oxígeno”

Tabla 2. Ruta de la propuesta de intervención de aula.

Título: Detectives de la Luz: El Misterio de la Producción de Oxígeno					
Objetivo: Promover en los estudiantes del primer curso del colegio Juan Ramón Dahlquist habilidades de experimentación en el aula que les permita aproximarse al conocimiento sobre la fotosíntesis.					
Fase	Objetivo	Actividad	Intención didáctica o descripción	Instrumentos y recursos	Tiempo
Fase 1: El Desafío de la Luz y la Oscuridad.	Promover la comprensión inicial de los estudiantes sobre el rol de la luz en la fotosíntesis para la producción de oxígeno a través de la discusión, la formulación de hipótesis y la	1. Discusión inicial usando las fichas con las preguntas orientadoras (ver anexo).	En esta actividad, los estudiantes participarán en una discusión inicial utilizando fichas con preguntas orientadoras. Estas preguntas están diseñadas para guiar el análisis y la reflexión inicial sobre el rol de la luz en la fotosíntesis.	Preguntas guiadas como fichas. (ver anexo)	45 minutos
		2. Socialización en mesa redonda sobre las respuestas a las preguntas y establecer hipótesis en torno a los efectos de la	Durante la discusión, los estudiantes compartirán sus ideas y conocimientos previos, generando un intercambio de hipótesis y teorías que les permitirán	Preguntas guiadas como fichas.	45 minutos

	observación directa.	luz de una planta de elodea sumergida en agua en una jarra transparente.	introducirse en el tema antes de realizar el diseño experimental.		
		3. Analizar la interacción de la luz con la planta Elodea sumergida en agua a partir de observaciones.	Para monitorear el diseño experimental, los estudiantes llevarán un registro detallado de las hojas, su coloración y cualquier otro aspecto observable en un diario de laboratorio, acompañándolo con un seguimiento fotográfico diario durante una semana.	Una planta de Elodea sumergida en agua.	5 días.
		4. Conformación de grupos detectives (de cuatro integrantes)	Al concluir la observación, los estudiantes se agruparán en equipos de cuatro personas para continuar con las siguientes fases del proyecto.		10 minutos
		5. Práctica de laboratorio.	En esta actividad los estudiantes observarán mediante un microscopio las estructuras que participan en el fenómeno de la fotosíntesis	Microscopio, Muestras de elodea	1 hora

<p>Analizar el efecto de la luz en la producción de oxígeno de la planta Elodea mediante la realización del diseño experimental.</p>	<p>6. Misión de detectives (actividad experimental): Planificar actividades experimentales para investigar cómo la luz afecta a la planta y formular preguntas e hipótesis sobre los resultados esperados.</p>	<p>Los estudiantes llevarán a cabo un experimento para investigar cómo la luz influye en la producción de oxígeno en la planta Elodea. Utilizando herramientas básicas de laboratorio, los estudiantes medirán la cantidad de oxígeno liberado bajo tres condiciones: plena luz, poca luz y oscuridad total (ver guía de procedimiento en anexo).</p>	<p>-10 gramos de Elodea por equipo - Vaso precipitado - Embudo -Tubo de ensayo - Caja de cartón - Pintura en aerosol</p>	<p>5 días</p>
	<p>7. Elaborar explicaciones: Elaborar explicaciones acerca de los efectos de la luz el agua y los cloroplastos en la planta Elodea, basándose en las observaciones, análisis y discusiones realizadas durante el diseño experimental.</p>	<p>Para elaborar tal explicación los estudiantes contarán con materiales como artículos científicos, videos educativos, infografías y fragmentos de libros o guías didácticas en relación a la luz, el agua y los cloroplastos y cómo, a partir de estas herramientas, la planta en estas condiciones produce oxígeno.</p>	<p>Materiales educativos (ver anexo)</p>	<p>60 minutos</p>

<p>Fase 2: Aproximación al contexto histórico y conceptual sobre el fenómeno de la fotosíntesis.</p>	<p>Establecer conexiones científicas con los conocimientos, observaciones y conclusiones de los estudiantes sobre la fotosíntesis.</p>	<p>1. Conversación: Debatir utilizando fragmentos de textos de los primeros detectives (científicos) que abordaron las interacciones entre la luz, el agua y las plantas.</p>	<p>En este punto, se comparte con los estudiantes las afirmaciones de Ingenhousz y Senebier, así como algunas explicaciones desarrolladas por el autor de la propuesta que vinculan las sustancias con las plantas. De este modo, se invita a los estudiantes a reflexionar sobre su postura frente a estas afirmaciones, considerando sus propias explicaciones.</p>	<p>Extractos de los escritos de los científicos mencionados y pautas para la discusión posterior (ver anexo)</p>	<p>60 minutos</p>
<p>Fase 3: Expo ciencias: Divulgación del misterio.</p>	<p>Fomentar la comunicación y el aprendizaje significativo, permitiendo a los estudiantes organizar y presentar sus hallazgos sobre la fotosíntesis.</p>	<p>1. Preparación de la Expo: Organizar las informaciones obtenidas durante el estudio del fenómeno de la fotosíntesis.</p>	<p>Cada grupo montará un stand que resuma y demuestre su proceso de estudio, incluidas las hipótesis, los métodos utilizados, el experimento y los resultados obtenidos.</p>	<p>Espacio de exposición, materiales de presentación (carteles, montaje del experimento, videos, fotos)</p>	<p>1 día</p>
		<p>2. Exposición a otros grupos: Los grupos presentarán sus stands a</p>	<p>Esta actividad fomentará la comunicación de los estudios y la divulgación de la ciencia en un</p>	<p>Espacio de exposición, equipo de audio.</p>	<p>1 día</p>

		<p>sus compañeros y responderán preguntas si lo hubiere.</p>	<p>formato accesible. Cada grupo tendrá un tiempo asignado para presentar su stand en la expo ciencias y la interacción al permitir que los estudiantes hagan preguntas y se inicie un debate sobre el fenómeno en cuestión.</p>		
		<p>3. Evaluación de la experiencia: Llevar a cabo una reflexión grupal donde los estudiantes discutirán lo aprendido, los desafíos enfrentados y cómo el trabajo en equipo contribuyó al desarrollo de su proyecto.</p>	<p>Esta actividad se centrará en el aprendizaje colaborativo, donde los estudiantes compartirán sus experiencias, qué aprendieron de otros grupos y cómo sus percepciones sobre el fenómeno de la fotosíntesis pudieron haber cambiado a lo largo del proyecto.</p>	<p>Pizarras, marcadores para anotar ideas, diario de registros y cuestionarios de autoevaluación.</p>	<p>60 minutos</p>

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO VI Producción Discursiva

Este trabajo de grado es el resultado de una reflexión sobre el sentido de la enseñanza de las ciencias naturales y la consolidación de aprendizajes desarrollados a lo largo de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. El proceso de formación en dicha maestría ha sido constantemente debatido con el fin de contribuir a una visión de la ciencia como una actividad en la que se hace necesario desde la formación docente, profundizar en aspectos epistemológicos, históricos y experimentales. Por consiguiente, a través de un interés personal por el estudio del fenómeno de la fotosíntesis y profundizando en términos de la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos, se ha buscado transformar elementos en particular aquellos relacionados tanto con su comprensión como con su enseñanza.

A lo largo del análisis histórico, la comprensión de la fotosíntesis ha evolucionado de una manera significativa. Inicialmente, el estudio se centró en los conceptos teóricos que explicaba la transformación química de las sustancias en la fotosíntesis. No obstante, el diálogo que se hace en este trabajo de los diferentes referentes teóricos hace evidente la importancia del contexto experimental y cómo estos estudios no solo se limitan a describir reacciones químicas, sino que aportan a la construcción de una visión compleja de la fotosíntesis. La cual, entendida a la luz de estos estudios históricos, deja de ser solo una reacción bioquímica aislada y se convierte en un fenómeno complejo en el que la luz, el agua y los cloroplastos interactúan en la producción de oxígeno.

La manera en que los científicos estructuraron sus investigaciones estuvo influenciada por sus intereses y los cuestionamientos que se hacían en sus experimentos. En muchos casos, los estudios no tenían como objetivo principal comprender la fotosíntesis tal como la

conocemos hoy, sino que se centraron en interrogantes sobre el comportamiento del aire, el agua y la luz. De esta manera, los descubrimientos fueron escalando de manera gradual.

Esto ha permitido entender que, la enseñanza de la ciencia debe ir más allá de la entrega de información, sino que se debe fomentar la curiosidad y la capacidad de cuestionarse; aunque no todas las hipótesis conduzcan a respuestas inmediatas, estas abren caminos hacia una comprensión del fenómeno en cuestión. Por esta razón, se ha incorporado este principio en la propuesta de aula, fomentando en los estudiantes el interés por formular sus propias preguntas y a dirigir su aprendizaje a través de la experimentación y la indagación. De esta manera, la revisión histórica ha revelado cómo la construcción del fenómeno de la fotosíntesis depende no solo de los experimentos, sino también de las teorías que guían la interpretación del mundo en diferentes momentos históricos.

Por lo anterior, se entiende que las concepciones y percepciones de ciencia que tienen los docentes inciden en la forma en que se enseñan los contenidos disciplinares, independientemente del área en cuestión. Entonces, la propia enseñanza podría contener desde apreciaciones, intereses, motivaciones e incluso ideologías que hacen parte de la experiencia profesional de los docentes. Esto requiere de reflexiones tanto del quehacer docente en términos de su profesionalización y formación continua como de su práctica.

En este sentido, este trabajo profundiza en el contexto histórico crítico sobre la fotosíntesis, y en la construcción de actividades experimentales que permitan aproximarse a su comprensión. Para ello, se acude a referentes teóricos y experimentales como Jan Ingenhouz y Jean Senebier, quienes proporcionaron bases conceptuales y de experimentación alrededor de este fenómeno. Así, se puede rastrear que los estudios experimentales de estos referentes

se desarrollan en condiciones de laboratorio con plantas acuáticas sometidas a distintas longitudes de onda, esto les permitió interesarse por la interacción entre la luz, el agua y los cloroplastos aún desconocidos para ellos para derivar teorizaciones acerca de cómo las plantas producen oxígeno durante el proceso de la fotosíntesis.

Algunas de estas teorizaciones más importantes tienen que ver con los estudios de Jan Ingenhousz y Jean Senebier quienes en el siglo XVIII abrieron el camino para el estudio de cómo las plantas no solo purifican el aire, sino que dependen fundamentalmente de la luz para llevar a cabo este proceso. A partir de los experimentos de estos primeros científicos, se pudo establecer que las plantas purifican el aire, liberando lo que se denominó aire desflogistizado, un hallazgo revolucionario para la época.

Este es un aspecto relevante, como se verá más adelante, sirve como eje estructural tanto para la profundización teórica de este trabajo como para el desarrollo de la propuesta de aula. En dichos estudios, se puede apreciar que la consolidación del conocimiento en torno a la fotosíntesis estuvo mediada por un fuerte trabajo empírico y experimental. Priestley, por ejemplo, no solo exploró el proceso de la purificación del aire por las plantas, sino que también abrió nuevas perspectivas sobre la relación entre los gases y los seres vivos. En términos de la enseñanza de la fotosíntesis, lo anterior, resulta interesante puesto que la producción de oxígeno no es algo que se pueda ver a simple vista, más allá de las burbujas de gas que salen de la hoja hacia la superficie; siendo necesario una abstracción teórica que incluya un conocimiento previo que permita al menos visualizar las estructuras en interacción y los procesos fisicoquímicos.

En esta misma línea de experimentación, Ingenhouz profundizó en la interacción de las plantas con la luz, demostrando que este factor era esencial para la purificación del aire. Su descubrimiento de que solo las partes verdes de las plantas, y únicamente en presencia de la luz, podían liberar aire desflogistizado. Estos experimentos pioneros resaltan la importancia de la experimentación en el avance de la ciencia, al vincular observaciones con teorías emergentes sobre los procesos vitales. Se puede considerar que estos estudios experimentales generan un vínculo entre científico y fenómeno que va más allá de las suposiciones teóricas para demostrar la naturaleza imperceptible a simple vista de los fenómenos naturales, que en el caso de la fotosíntesis requirió del avance en el conocimiento previo sobre la luz, los gases entre otros aspectos y la disponibilidad de instrumentos específicos que permitieran simular y controlar en el laboratorio condiciones ideales.

Es este contexto, también es importante destacar las contribuciones de Senebier, quien a finales del siglo XVIII complementó las investigaciones de Ingenhouz al demostrar que el dióxido de carbono juega un papel esencial en el proceso de la fotosíntesis. A través de sus trabajos, confirmó que las plantas captaban dióxido de carbono presente en la atmósfera y lo utilizaban en la producción de oxígeno. Este hallazgo posibilitó nuevas formas de pensar en los procesos vinculados a la fotosíntesis, ya que reveló cómo las plantas convierten gases atmosféricos y luz en materia orgánica

A partir de esta reflexión y como producto del proceso de profundización mencionado anteriormente, en este trabajo se realiza la propuesta didáctica: “Detectives de la luz: el misterio de la producción de oxígeno”. Esta propuesta busca acercar a los estudiantes del primer curso del nivel medio del Colegio Nacional Juan Ramón Dahlquist al estudio de la fotosíntesis de manera experimental y profundizando en aspectos teóricos e históricos. Por

lo tanto, brinda herramientas didácticas como fichas, preguntas orientadoras, guías de laboratorio, material audiovisual entre otras necesarias para su abordaje. En consecuencia, las siguientes reflexiones en este capítulo están relacionadas con el papel del maestro como mediador de la enseñanza y facilitador de experiencias y actividades prácticas, cercanas los estudiantes que les permitan construir narrativas, explicaciones, argumentaciones, cuestionamientos en torno al fenómeno de la fotosíntesis.

Si bien los libros de texto describen el proceso de la fotosíntesis con detalle, se considera que los enfoques explicativos resultan a veces insuficientes para los estudiantes dada la simplificación conceptual, histórica y experimental. Se considera entonces que un enfoque que incluya estos aspectos de una manera más profunda permite un acercamiento adecuado hacia la comprensión del fenómeno de la fotosíntesis por parte de los estudiantes. Así, la propuesta planteada es conducente a que los estudiantes comprendan que la producción de oxígeno es un proceso complejo en tanto que participan tantas estructuras como sustancias y condiciones particulares.

En términos experimentales la sola mención de que la luz participa en la producción de oxígeno no logra despertar el interés en los estudiantes, ni propiciar una enseñanza significativa más allá de la simplificación conceptual. Por lo tanto, surge la necesidad de profundizar sobre las condiciones en que se produce la fotosíntesis y diseñar una serie de experimentos que demostraran la producción de oxígeno en plantas bajo diferentes condiciones lumínicas y que permitieran generar procesos relacionados y aproximados con la experimentación científica en niveles escolares de formación académica. Por lo anterior, se entiende que el estudio de la fotosíntesis tiene fuertes raíces en la historia de la ciencia por

lo que otra de las motivaciones académicas de este trabajo y propuesta es la de integrar el enfoque histórico-crítico de las ciencias en la enseñanza.

A partir de este análisis, se ha comprendido que, al enseñar fotosíntesis en el aula, es primordial no solo presentar los conceptos actuales, sino que permitir que los estudiantes exploren las teorías y experimentos históricos que condujeron a nuestra comprensión actual. De esta manera, los estudiantes pueden ver la ciencia como un proceso en constante evolución, que se construye a lo largo del tiempo mediante el ensayo, el error y el descubrimiento.

Como se ha podido mostrar, la profundización en la actividad experimental ha sido parte esencial de este trabajo, y a través de ella se busca generar una aproximación a la comprensión de los procesos involucrados en la fotosíntesis. De modo que el diseño de los experimentos con la planta Elodea, sometida a diferentes longitudes de onda de luz, permite explorar y generar explicaciones sobre la forma en que los pigmentos fotosintéticos absorben la energía luminosa de manera diferencial según el color de la luz. Aquí, la producción de oxígeno se utiliza como un indicador de la eficiencia fotosintética bajo las distintas condiciones lumínicas, lo que brinda una forma tangible de caracterizar la incidencia de la luz en el proceso fotosintético.

Es así como durante los diseños experimentales desarrollados en este trabajo con la planta elodea, los resultados mostraron un comportamiento inesperado en relación con la producción de oxígeno bajo dos luces que, según la literatura científica, deberían haber facilitado este proceso. Los pigmentos involucrados en la fotosíntesis, tales como la clorofila A y B, son conocidos por absorber mejor las longitudes de onda asociadas a la luz roja y azul,

lo que, teóricamente, debería promover una mayor tasa fotosintética y, por lo tanto, una mayor producción de oxígeno. Sin embargo, en este caso particular, ni la roja ni la luz azul favorecieron la producción de oxígeno. Esta discrepancia abre un espacio de reflexión, sugiriendo la posibilidad de que otros factores o condiciones, más allá de la presencia de la luz en esas longitudes de onda, sean necesarios para optimizar la producción de oxígeno en la planta *Elodea* bajo dichas circunstancias.

Esto me lleva a cuestionar si la comprensión sobre las condiciones óptimas para la fotosíntesis está completamente desarrollada. La interacción de la luz con la planta puede ser más compleja de lo que se plantea, consideran niveles como la temperatura, los niveles de dióxido de carbono, o incluso la salud general de la planta. Además, los resultados de la cromatografía me han llevado a reflexionar sobre la diversidad de pigmentos presentes en la *Elodea*, orientando la idea de que los pigmentos desempeñan un rol más destacado en la fotosíntesis de lo que tradicionalmente se reconoce. La ciencia es un proceso de análisis, y cada resultado nos ofrece la oportunidad de profundizar en nuestra comprensión, así como de repensar las metodologías utilizadas para abordar estos fenómenos fotosintéticos.

A lo largo del desarrollo de este trabajo, la comprensión del fenómeno de la fotosíntesis ha atravesado una transformación considerable. En un inicio, la percepción se encontraba limitada a una visión reduccionista, centrada principalmente en la producción de oxígeno como algo automático y vinculando a elementos como el dióxido de carbono, los minerales absorbidos de la tierra, y la luz solar. Esta concepción, aunque válida dentro de ciertos límites, no alcanzaba a captar la complejidad y las interacciones múltiples que ocurren durante el proceso de fotosíntesis. Al profundizar en los experimentos históricos realizados por científicos como Ingenhousz y Senebier, se fue ampliando la perspectiva.

La reflexión histórica permitió descubrir que la fotosíntesis ha sido entendida de manera evolutiva a través de experimentos que no solo han tratado de demostrar la importancia de la luz, sino también el papel del agua y otros factores ambientales. Al comprender estos aspectos teóricos y experimentales, se desechó la visión simplista que todo se realizaba de manera automática, y se reconoció que la fotosíntesis es un fenómeno dinámico en el que intervienen múltiples variables que no siempre pueden ser controladas o replicadas de manera exacta en diferentes experimentos. De hecho, los trabajos experimentales realizados en el marco de este proyecto con la planta *Elodea* revelaron que, bajo determinadas condiciones de luz, los resultados obtenidos no siempre coincidían con las previsiones teóricas, lo que generó un espacio de reflexión crítica sobre las limitaciones de las condiciones experimentales y las teorías existentes.

La experiencia experimental tuvo un impacto significativo en la comprensión del fenómeno. Al observar cómo la planta *Elodea* respondía a diferentes longitudes de onda de luz, se evidenció la complejidad del proceso y la importancia de factores como las diferentes longitudes de onda, la disponibilidad de agua, y la concentración de gases en el ambiente. En algunos casos, los resultados fueron inesperados: ciertos colores de luz no generaban las reacciones esperadas en términos de producción de oxígeno, lo que cuestionó las concepciones previas sobre cómo éstos influyen en este proceso. Este hallazgo subraya la necesidad de revisar las condiciones experimentales constantemente, así como la relevancia de la experimentación continua y del cuestionamiento de los conocimientos establecidos.

6.1 Recomendaciones

A raíz de la profundización realizada sobre la fotosíntesis, impulsado por una serie de inquietudes surgidas en el contexto de la enseñanza, se hicieron evidentes las dificultades tanto para el maestro y estudiantes. En este sentido, surgieron preguntas al respecto, algunas de ellas son, ¿cómo se puede hacer más accesible la enseñanza de la fotosíntesis? ¿Qué factores influyen para la producción de oxígeno? ¿Cómo los estudiantes pueden participar durante el desarrollo de la enseñanza de la fotosíntesis? Todo esto llevó a profundizar sobre algunos elementos de la fotosíntesis y a desarrollar actividades experimentales y a partir de los resultados, se presentan algunas recomendaciones para enriquecer futuras prácticas:

En primer lugar, en el marco de la enseñanza de la fotosíntesis, la tecnología se destaca como un recurso necesario para mejorar la comprensión sobre la actividad de los cloroplastos y su relación con los factores ambientales. La implementación de la tecnología, desde la experiencia, permitiría visualizar las actividades fotosintéticas en tiempo real para obtener mejores resultados y por consecuencia, una mejor comprensión.

Otro punto importante sería variar las condiciones en la experimentación, como someter a temperaturas que podrían alterar las reacciones fotosintéticas; el nivel de la humedad se podría implementar en niveles secos, con poca agua y agua en abundancia, pero de la misma especie de planta.

Incluir una concentración de dióxido de carbono, de esta manera, la planta tendrá más materia prima disponible para el proceso fotosintético, lo que podría acelerar la producción de oxígeno. Por otro lado, también es posible que, en ciertas condiciones, un exceso de dióxido

de carbono no tenga un efecto significativo si la planta alcanza un límite en su capacidad fotosintética.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Polyphenoloxidase in Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Baker, J., y Allen, G. (1970). *Biología e investigación científica*. Fondo Educativo.
- Blanco, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. *Cultivos Tropicales*.
- Blankenship, R. E. (2014). *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*. Wiley-Blackwell.
- Demmig-Adams, B., y Adams, W. W. (1996). The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 1(1), 21-26.
- De las Rivas, J. (2008). La luz y el aparato fotosintético. En J. Azcón-Bieto, y T. Manuel, Fundamentos de fisiología vegetal (pp. 165-190). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Gantiva, A., Díez, C., y Moreno, F. (2020). Efecto de la interacción luz-agua sobre la fotosíntesis de la *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Revista de Biología Tropical*, 68(4), 1250-1261. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.41385>
- Gil, P. (2023). Estudio histórico-crítico y experimental de la transformación de sustancias como el agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis en las plantas. *Universidad Pedagógica Nacional*, 47(1). <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.100950>
- Grew, N. (1682). *The Anatomy of Plants*. London

Ingen-Housz, J. (1779). Experimentos sobre vegetales, descubriendo su gran poder de purificar el aire común a la luz del sol, y de herirlo en la sombra y de noche. P. Elmsly; H. Payne.

Karp, G. (2009). La fotosíntesis y el cloroplasto. En G. Karp, *Biología celular y molecular* (pp. 214-238). México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores.

Malagón, M., Rodríguez, F., & Rozo, M. (2011). *La práctica experimental en la enseñanza de las ciencias: un enfoque fenomenológico*.

Manrique, L. A. (2003). Photosynthesis and respiration of crop plants. *International Rice Research Institute*.

Orozco, J., Valencia, S., Méndez, O., y Jiménez, G., Garzón, P. (2003). *Los problemas de conocimiento: una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias*. Universidad Pedagógica Nacional.

Revilla, G. y Zarra, I. (2008). Fisiología vegetal. Introducción a las células de las plantas: membranas y pared. En J. Azcón-Bieto, & M. Talón, *Fundamentos de fisiología vegetal* (págs. 3-24). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.

Senebier, J. (1788). Recherches sur l'influence de la lumiere solaire. Pour metamorphofer l'air fixe en air pur par la vegetation. Ginebra.

Taiz, L., y Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Sinauer Associates.

Valencia, S., Méndez, O., y Jiménez, G. (s.f). *El terrario: una perspectiva fenomenológica para la comprensión de lo vivo*. Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. Universidad Pedagógica Nacional.

Yoshida, M., et al. (2013). *New light on chloroplast redox regulation: Molecular mechanism of protein thiol oxidation*. *Frontiers in Plant Science*, 4, 10.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00010>

ANEXO

Ficha de pistas (preguntas) para los detectives

Caso: “El Misterio de la Producción de Oxígeno”



Identidad del escuadrón (nombre):

Condición de luz:


Detectives (nombre de los integrantes):

Fecha:


Lugar de la expedición:

Pistas para abordar el Misterio:


Pista 1: ¿Sabías que la luz se compone de diferentes colores, cada uno con longitud de onda distinta?
¿Crees que los diferentes colores de luz pueden influir en el comportamiento de las plantas?

Observación:  observar en cómo las plantas reaccionan a diferentes luces


Pista 2: ¿Crees que hay alguna incidencia de la luz en la fotosíntesis?

Observación:  indagar cómo las plantas responden a la luz.


Pista 3: ¿Qué crees que sucederá con una planta si la dejamos en total oscuridad durante varios días?

Observación:  piensa en cómo afectaría la falta de luz en las plantas

Pista 4: ¿Por qué crees que las plantas necesitan luz para sobrevivir?

Observación:  reflexiona sobre el papel de la luz en la vida de las plantas

Pista 5: ¿Qué relación existe entre la luz y la producción de oxígeno en las plantas?

Observación:  considera cómo la fotosíntesis produce oxígeno.

Reunión de los detectives para el diálogo sobre las pistas

Guía de Montaje Experimental

Detectives de la Luz “El Misterio de la Producción de Oxígeno”

Detective:

Nombre del grupo:

1. Materiales Necesarios:

- Plantas de Elodea (10 gr por grupo)
- Beaker de 600ml
- Embudo de vidrio o plástico
- Tubo de ensayo
- Luces led (roja, blanca, amarilla, azul y verde)
- Caja de cartón
- Pintura en aerosol
- Instrumento de medición de gas

2. Procedimiento Experimental:

- Pintar la caja de cartón con la pintura en aerosol.
- Asegurarse de que la caja no tenga orificios que posibilite la entrada de luz.
- Colocar las luces led verificando que queden bien sujetas dentro del cartón.
- Realizar pruebas si no tienen fallas técnicas las luces led. Cabe resaltar que cada caja de cartón debe contar el mismo número de luces led para que no haya variaciones.

- Colocar 10gr de la planta Elodea dentro del embudo. Asegurarse de que la planta esté en buen estado y acomodar dentro del beaker, de modo que quede completamente sumergida.
- Llenar el beaker con agua has los 500ml.
- Colocar el tubo de ensayo invertido y de modo que cualquier burbuja de gas quede atrapada dentro del tubo.
- Ubicar las plantas de Elodea cuidadosamente dentro de la caja de cartón.
- Conectar las luces al corriente.
- Tomar fotografías.

3. Orientaciones a tener en cuenta para las observaciones:

- Tomar fotografías todos los días durante una semana
- Registrar cualquier cambio visible en la planta como: la apariencia de la planta, coloración de las hojas, aparición de mohos, olor que desprende, etc.
- Observar y documentar la producción de oxígeno.
- Medir el volumen de oxígeno con el instrumento de medición de gas.
- Al cabo de una semana, desmontar el experimento.
- Realizar reflexiones sobre los resultados obtenidos.

4. Tabla para los registros diarios

4. Tabla para los registros diarios		
Día	Color de luz correspondiente	Análisis
1		
2		
3		

	4			
	5			
	6			

Elaboración propia

Videos educativos sobre la fotosíntesis



¡¡Atención!! En los siguientes videos se presenta una complementación explicativa con imágenes microfotográficas que permitirá tener una aproximación de lo que sucede en las estructuras de las hojas de las plantas.

1. Videociencias: La Fotosíntesis – Elementos del proceso

Ver video aquí: https://www.youtube.com/watch?v=mESo_QeTFyA :

En este video se presenta la fotosíntesis como un fenómeno a ser abordado, los procesos y los elementos principales como la luz, los cloroplastos, el dióxido de carbono y el agua. Se resalta la importancia de cada componente del proceso.

¿Cómo crees que las condiciones ambientales como la luz, el agua y la humedad, influyen en la eficiencia de la fotosíntesis?

2. Videociencias: Cloroplastos y clorofila


Ver video aquí: <https://www.youtube.com/watch?v=GePUHloY10U>: Este video ofrece una explicación detallada de la fotosíntesis, cómo las plantas utilizan los elementos fotosintéticos y destacando especialmente el papel de los cloroplastos y la clorofila en el proceso.

¿Qué te llama la atención sobre el proceso de la fotosíntesis que gustaría profundizar?

Material de apoyo para los detectives

¡¡Detectives!! Hoy se presentan dos recursos geniales que ayudarán a descifrar el misterio de la producción de oxígeno. A través de estos materiales, se podrá aproximar a cómo las plantas utilizar la luz para el proceso fotosintético

1. Los pigmentos fotosintéticos: algo más que la captación de luz

 Autor: Manrique Reol, E. (2003)

 [Accede al artículo aquí](#)

Este artículo actúa como una lupa que permitirá analizar cómo las plantas capturan la energía de la luz a través de los pigmentos fotosintéticos.

2. Manual de prácticas de fotosíntesis:

 Autores: García, R. y Ortega, M. 1º edición, 2006

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FanXSdIC-oIC&oi=fnd&pg=PA3&dq=ARTICULO+SOBRE+LA+FOTOSINTESIS&ots=y9FwkdZZNb&sig=HFSTvemcrh9WfYIwsm0p_nU_au4#v=onepage&q=ARTICULO%20SOBRE%20LA%20FOTOSINTESIS&f=false

Este manual te lleva directamente al campo de la experimentación. Si alguna vez quisiste tener el rol de detective, ¡este es el mejor recurso para ti! Aquí aprenderás a ser un detective de la luz y descubrir el misterio del oxígeno.

Material Educativo: Fragmentos sobre la Historia de la Fotosíntesis

En este material exploraremos los descubrimientos históricos sobre la fotosíntesis en donde nos centraremos en los estudios realizados por Jan Ingenhousz y Jean Senebier, quienes hicieron contribuciones muy importantes para comprender cómo las plantas interactúan con la luz, el agua y los cloroplastos en la producción de oxígeno.

1. La Historia de la Fotosíntesis:

➤ Jan Ingenhousz (1779):

Ingenhousz fue un científico holandés que descubrió que las plantas liberan oxígeno (aire purificado) cuando están expuestas a la luz, y que este proceso no ocurre en la oscuridad. Su trabajo fue fundamental para comprender que la luz es esencial para la fotosíntesis.

"Las plantas verdes, al recibir la luz, restauran el aire viciado al absorber dióxido de carbono y liberar oxígeno, siendo este proceso más eficiente en la luz que en la oscuridad." (Ingenhousz, citado en Baker & Allen, 1970)

Reflexión para los estudiantes:

¿Por qué Ingenhousz destacó la importancia de la luz en la fotosíntesis?

¿Qué diferencias podría haber en la producción de oxígeno si las plantas estuvieran en un ambiente sin luz durante mucho tiempo?

➤ Jean Senebier (1788):

Senebier, un naturalista suizo, amplió la comprensión de la fotosíntesis al descubrir que las plantas absorben dióxido de carbono en la luz y lo convierten en oxígeno. Esto fue un paso crucial para entender cómo las plantas contribuyen al ciclo del carbono en la atmósfera.

"La absorción de dióxido de carbono por las plantas verdes en la luz, y su

conversión en oxígeno, son los procesos fundamentales para la renovación del aire, un fenómeno que se acelera en la presencia de luz solar." (Senebier, citado en Baker & Allen, 1970)

Reflexión para los estudiantes:

¿Qué importancia tiene el dióxido de carbono en el proceso de fotosíntesis?

En el contexto actual, ¿cómo podrían los descubrimientos de Senebier contribuir a combatir el cambio climático?

2. Discusión y Reflexión:

2.1. Aportes de Ingenhousz:

¿Por qué el descubrimiento de Ingenhousz sobre la luz fue tan fundamental para comprender cómo las plantas purifican el aire?

Si las plantas liberan aire purificado durante el día, ¿qué sucede por la noche? ¿Cómo esto afecta a los seres vivos?

2.2 Aportes de Senebier:

¿Cómo podemos aplicar este aporte para optimizar la producción de oxígeno en los espacios verdes urbanos?

¿Qué relevancia tiene el trabajo de Senebier en el entendimiento de cómo las plantas contribuyen a mantener niveles adecuados de oxígeno en la atmósfera?

3. Recursos Adicionales:

Para aprender más sobre los trabajos de estos científicos y sus contribuciones a la fotosíntesis, puedes consultar estos recursos:

Google Scholar - Investigaciones sobre Ingenhousz y Senebier
Búsqueda en Google Scholar

Fragmentos de las fuentes primarias y algunas preguntas para posterior discusión y reflexión. Elaboración propia.