



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA**



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo
para obtener el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

TEMA:

“Importancia de las Biomoléculas que se producen en el proceso de la
fotosíntesis de las plantas superiores C3 y C4”.

AUTORA:

Dania Michell Escobar Naranjo

TUTORA:

Ing. Qca. Adriana Mejía Gonzáles, M.Sc.

BABAHOYO - LOS RÍOS - ECUADOR

2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por haberme dado la oportunidad de realizar este logro. Luego dedico este compendio a la memoria de mi abuela Claudina Mora Macias, quien en vida me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo. Y también está dedicado a mis padres, Teófilo Escobar Rodríguez, Ana Naranjo Mora, y a mi hermana Genesis Escobar Naranjo y de manera muy especial a mi hijo Alex Guerrero Escobar, quienes han sido mi apoyo fundamental durante toda mi carrera que me enseñaron que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios y a mis padres y a mi hijo.

A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome las fuerzas para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y por mi educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando toda su confianza en cada reto que se me ha presentado sin dudar ni un solo momento de mi inteligencia y capacidad. A la luz que puso Dios en mi vida, para darme la mayor alegría, a ti mi pequeño hijo y mi más grande amor. Es gracias a ellos que son los principales promotores de mi vida profesional, y por ellos soy lo que soy ahora.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo final correspondiente al Componente Práctico del Examen Complexivo se realizó con la finalidad de fortalecer los conocimientos referentes importancia de las biomoléculas que se producen en el proceso de la fotosíntesis, tanto en las plantas superiores C3 y C4. Se habló de los siguientes temas: definición de fotosíntesis, importancia de la fotosíntesis, fases de la fotosíntesis (fase luminosa o lumínica y fase oscura o Ciclo de Calvin), diferencias de la fotosíntesis entre las plantas C3 y C4. En la fase lumínica las plantas capturan la energía luminosa para romper la molécula de agua y formar energía química llamada: ATP (adenosin – trifosfato) y NADPH (nicotinamida - adenin – dinucleótido). La síntesis del NADPH se forma a partir del NADP⁺, el cual acepta electrones. La síntesis de adenosin - trifosfato (ATP) se forma a partir del adenosin - difosfato (ADP) y el fosfato inorgánico (Pi). Estas dos formas de energía química son utilizadas en la fase oscura o Ciclo de Calvin. En la fase luminosa ocurre la liberación de oxígeno. La energía producida en la fase luminosa en forma de ATP y NADPH es utilizada en la fase oscura para la síntesis de materia orgánica, fijando el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera para convertirlo en glucosa. En la fase oscura o Ciclo de Calvin se convierten moléculas inorgánicas de dióxido de carbono en moléculas orgánicas sencillas como: ácido 3-fosfoglicérico (PGA), gliceraldehído 3- fosfato (PGAL), a partir de las cuales se formará el resto de los compuestos bioquímicos que conforman las plantas como: aminoácidos, ácidos grasos, glucosa, fructosa, almidón, etc. Las diferencias de la fotosíntesis de las plantas C3 y C4 se dan en la fase oscura o Ciclo de Calvin. La fotosíntesis C4 supera la limitación de la fotorrespiración, aumentando la eficiencia fotosintética y minimizando la pérdida de agua. Dicho de otra forma, las plantas C3 son consideradas plantas “normales” que no poseen adaptaciones fotosintéticas para reducir la fotorrespiración; mientras que en las plantas C4 siempre hay una alta concentración de CO₂ en comparación con O₂ alrededor de la Rubisco, estrategia que reduce al mínimo la fotorrespiración.

Palabras clave: fotosíntesis, biomoléculas, fase luminosa, fase oscura, dióxido de carbono, oxígeno.

SUMMARY

The objective of this final work corresponding to the Practical Component of the Complexive Examination was carried out in order to strengthen the knowledge regarding the importance of biomolecules that are produced in the photosynthesis process, both in higher plants C3 and C4. The following topics were discussed: definition of photosynthesis, importance of photosynthesis, phases of photosynthesis (light or light phase and dark phase or Calvin cycle), and differences in photosynthesis between C3 and C4 plants. In the light phase, plants capture light energy to break the water molecule and form chemical energy called: ATP (adenosine - triphosphate) and NADPH (nicotinamide - adenine - dinucleotide). The synthesis of NADPH is formed from NADP +, which accepts electrons. The synthesis of adenosine triphosphate (ATP) is formed from adenosine diphosphate (ADP) and inorganic phosphate (Pi). These two forms of chemical energy are used in the dark phase or Calvin Cycle. In the light phase the release of oxygen occurs. The energy produced in the light phase in the form of ATP and NADPH is used in the dark phase for the synthesis of organic matter, fixing carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere to convert it into glucose. In the dark phase or Calvin Cycle, inorganic carbon dioxide molecules are converted into simple organic molecules such as: 3-phosphoglyceric acid (PGA), glyceraldehyde 3-phosphate (PGAL), from which the rest of the compounds will be formed biochemicals that make up plants such as: amino acids, fatty acids, glucose, fructose, starch, etc. The differences in photosynthesis of C3 and C4 plants occur in the dark phase or Calvin cycle. C4 photosynthesis overcomes the limitation of photorespiration, increasing photosynthetic efficiency and minimizing water loss. In other words, C3 plants are considered "normal" plants that do not possess photosynthetic adaptations to reduce photorespiration; while in C4 plants there is always a high concentration of CO₂ compared to O₂ around the Rubisco, a strategy that minimizes photorespiration.

Keywords: photosynthesis, biomolecules, light phase, dark phase, carbon dioxide, oxygen.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN	III
SUMMARY.....	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. MARCO METODOLÓGICO.....	3
1.1. Definición del tema caso de estudio.	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.	4
1.4. Objetivos.	4
1.4.1. Objetivo general.	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Fundamentación teórica.....	5
1.5.1. Definición de Fotosíntesis.	5
1.5.2. Importancia de la Fotosíntesis.	7
1.5.3. Fases de la Fotosíntesis.....	8
1.5.4. Diferencias de la fotosíntesis entre las plantas C3 y C4.....	15
1.6. Hipótesis.	20
1.7. Metodología de la investigación.....	20
CAPÍTULO II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1. Desarrollo del caso.....	21
2.2. Situaciones detectadas.	21
2.3. Soluciones planteadas.....	21
2.4. Conclusiones.	22
2.5. Recomendaciones.	23
BIBLIOGRAFÍA	24

INTRODUCCIÓN

A la hora de analizar las reacciones metabólicas, debemos considerar cuál es la fuente de carbono que incorporan los organismos y cuál es la fuente de energía. Si dejamos de pensar en una sola célula individual y lo hacemos en un organismo vivo, podemos tratar de clasificarlos en función de si son capaces de tomar o no energía y carbono de fuentes inorgánicas. La utilización de carbono inorgánico para fabricar su propia estructura sólo puede ser llevada a cabo por organismos autótrofos (auto: propio, trofo: alimento, que elaboran su propio alimento), mediante la fotosíntesis (Gagneten et al. 2015).

La fotosíntesis es un proceso físico-químico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. Se trata de un proceso fundamental para la vida sobre la tierra y tiene un profundo impacto sobre la atmósfera y el clima terrestre: cada año los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10% del dióxido de carbono atmosférico. El conocimiento básico de este proceso es esencial para entender las relaciones entre los seres vivos y la atmósfera así como el balance de la vida sobre la tierra (Pérez 2009).

La fotosíntesis ocurre en dos fases: fase luminosa y fase oscura. En la primera la luz solar se convierte en energía química gracias a los cloroplastos que se encuentran en la clorofila; dicha energía proviene de la rotura de la molécula de agua (H_2O), de forma que se libera oxígeno (O_2) a la atmósfera y aprovecha los protones de hidrógeno ($4H^+$) generados, que serán los que dentro de las células formen otra molécula denominada ATP (Adenosín trifosfato), que es la que almacena energía. Para que esto ocurra, cada molécula de clorofila absorbe un fotón de luz y al hacerlo pierde un electrón, el cual pasa a la cadena de transporte de electrones que produce NADPH (Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato) y el ya mencionado ATP (Cordero 2020).

El mismo autor menciona que la fase oscura es un proceso complejo de la fotosíntesis donde NADPH y ATP se utilizan para la producción de moléculas de carbohidratos (azúcares). La energía que la planta obtuvo en la fase luminosa se utiliza para sintetizar la glucosa ($C_6H_{12}O_6$) a partir del agua y el dióxido de carbono

captado de la atmósfera. La enzima RuBisCo (ribulosa-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa) es la encargada de captar el CO₂ de la atmósfera y en otro proceso llamado Ciclo de Calvin, utiliza en NADPH y el ATP formados en la fase luminosa, liberando azúcares de tres carbonos que luego pueden transformarse en sacarosa o almidón. Es importante indicar que para generar una molécula de glucosa se necesitan seis moléculas de CO₂.

El presente trabajo pretende dar a conocer la importancia de las biomoléculas producidas en el proceso de la fotosíntesis de las plantas superiores C₃ y C₄, las cuales presentan ciertas diferencias en sus procesos fotosintéticos.

CAPITULO I. MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio.

El presente trabajo práctico de modalidad del Examen Complexivo previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma es el siguiente:

“Importancia de las Biomoléculas que se producen en el proceso de la fotosíntesis de las plantas superiores C3 y C4”.

1.2. Planteamiento del problema.

La fotosíntesis es el proceso metabólico que ocurre en las plantas terrestres, las algas de aguas dulces, marinas o las que habitan en los océanos, y que permite la transformación de la materia inorgánica en materia orgánica y al mismo tiempo convierten la energía solar en energía química. Este proceso reviste gran importancia para la vida en la Tierra, ya que los organismos heterótrofos dependen de estas conversiones energéticas y de materia para su subsistencia. También a la eliminación de oxígeno fotosintético a la atmósfera obedecen la mayoría de los seres vivos. Podemos destacar que la fotosíntesis permite la producción de la fuente de energía que utilizan los consumidores para vivir y que almacenan a modo de carbohidratos, sin mencionar la importancia para la vida en la Tierra de la liberación del oxígeno mediante este proceso (Ripa 2008).

El complejo proceso de la fotosíntesis, debe funcionar de forma integrada y eficiente en un medio en el que existe una enorme variabilidad natural de factores que afectan a la tasa de fotosíntesis, tales como la luz, la temperatura, la humedad del aire, la disponibilidad hídrica y de nutrientes minerales en el suelo, etc. A estos factores puede añadirse también el dióxido de carbono, principal sustrato de la fotosíntesis, ya que en los últimos años se está observando un rápido aumento de la concentración de este gas en la atmósfera, hecho que muy probablemente está en la base de un cambio climático de alcance global (Azcón-Bieto et al. 2013).

Siempre hemos conocido que la fotosíntesis es un proceso biológico mediante el cual la energía luminosa del sol se convierte en la energía química, necesaria para alimentar los procesos vitales de los organismos autótrofos. A pesar de este conocimiento muy general, normalmente no se ha prestado importancia por

conocer cuáles son las moléculas que se forman durante este proceso, y la función de cada una de ellas.

1.3. Justificación.

El inicio del concepto del fenómeno de fotosíntesis, se desarrolló hace alrededor de 300 años con las investigaciones de Van Helmont. Pero, solo fue hasta principios del siglo XVII cuando se inicia el estudio experimental de la fisiología vegetal, teniendo en cuenta que no se contaba con las herramientas suficientes para demostrar cómo ocurrían las reacciones químicas. Hoy en día, numerosas investigaciones han servido de sustento de hechos que explican y confirman el estudio de la importancia de la fotosíntesis y de todas las moléculas que en ella intervienen (Acosta et al. 2015).

El mismo autor indica que este proceso, es de gran importancia desde el punto de vista químico, en la transformación de la energía luminosa en energía de enlace; desde el punto de vista biológico, en que casi toda la biomasa de la biosfera deriva de ella; desde el punto de vista ecológico, en su efecto sobre los cambios climáticos; desde el punto de vista económico, como fuente de alimentación y materia prima para la industria; y desde el punto de vista evolutivo, como factor determinante en la formación de la vida tal y como la conocemos actualmente. La relevancia de la fotosíntesis afirmando que es importante para el hombre, pues por medio de ella se producen alimentos y oxígeno. Pero, además, de forma directa o indirecta, ella alimenta a casi la totalidad del mundo vivo en el planeta.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Determinar la importancia de las Biomoléculas que se producen en el proceso de fotosíntesis en plantas superiores C3 y C4.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Describir la función de las principales biomoléculas que se producen en el proceso fotosintético.

- Analizar la importancia y diferencias de los procesos fotosintéticos en plantas superiores C3 y C4.

1.5. Fundamentación teórica.

1.5.1. Definición de Fotosíntesis.

(Esquivel 2006) manifiesta lo siguiente:

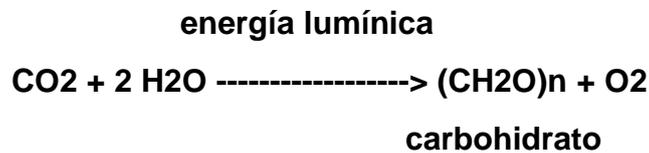
“La fotosíntesis la podemos definir como el proceso fisiológico mediante el cual plantas transforman la energía solar o luminosa llamada “fotón” en energía química llamada “glucosa”

La fotosíntesis, del griego antiguo (foto) "luz" y (síntesis) "unión", es el proceso por el cual las plantas transforman la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo. Consiste, básicamente, en la elaboración de azúcares a partir del CO₂ (dióxido de carbono) del aire, minerales y agua con la ayuda de la luz solar. En esta reacción se liberan moléculas de oxígeno y se fijan carbohidratos en la planta. Las plantas absorben la luz solar mediante un pigmento denominado clorofila. No sólo las plantas pueden fijar CO₂, también lo hacen ciertas bacterias y las algas verdes. La fotosíntesis está condicionada por factores internos de las plantas (actividad del rubisco, contenido de clorofila, duración del verde de hoja) y factores externos o ambientales (luz, CO₂, O₂, temperatura, nutrientes, agua disponible) (Labarthe y Pelta 2009).

La fotosíntesis, al igual que la respiración celular, es un proceso de óxido-reducción (redox) que ocurre en los organismos que poseen ciertos organelos llamados cloroplastos. Este es un proceso endergónico, en el cual se utiliza parte de la energía de reducción del dióxido de carbono para formar glucosa. La energía lumínica es capturada por los organismos capaz de fotosintetizar, quienes la usan para formar compuestos orgánicos y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y agua, en una serie de reacciones químicas. En la fotosíntesis, la energía lumínica se convierte en energía química y el carbono se fija en carbohidratos, tal como se muestra en la siguiente ecuación (Acosta et al. 2015):



La fotosíntesis es el proceso principal, por el cual la energía libre en el ambiente se hace disponible al mundo viviente. Los organismos autótrofos captan la energía luminosa y la transforman en energía química. Mediante este proceso se forma un carbohidrato y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y el agua (Aguilar et al. 2012):



El proceso de fotosíntesis que se desarrolla en las plantas consiste en la transformación de la energía captada del sol (luz solar) en energía química. Esta energía es utilizada por todas las plantas para la reducción del gas carbónico y la producción de hidratos de carbono mediante la intervención de sustancias inorgánicas y agua. Generalmente se trata de un conjunto de reacciones bioquímicas que dan la función a las plantas iluminadas de poder producir materia orgánica constituyendo de esta manera un proceso esencial para la vida. El agua presente en las plantas juega el papel de reductor y por lo tanto en la fotosíntesis se obtiene la liberación de oxígeno (Sánchez 2016).

El mismo autor menciona que la vida que se desarrolla en la tierra depende principalmente de la energía del sol. La fotosíntesis es el único proceso conocido que puede aprovechar la energía solar en forma de luz. El termino fotosíntesis en si significa "síntesis que usa luz". Todos los organismos fotosintéticos a partir de la energía solar producen compuestos del carbono como son los carbohidratos, sintetizan estos compuestos a partir de dióxido de carbono y agua con la producción adicional de oxígeno:



1.5.2. Importancia de la Fotosíntesis.

Gracias a la fotosíntesis se pudo expandir la vida sobre la tierra hace millones de años en la evolución y perpetuarse a través de los siglos hasta la actualidad al:

- Proporcionar alimentación para los organismos heterótrofos.
- Proporcionar biomasa.
- Proporcionar combustibles fósiles.
- Generar el oxígeno requerido para la actividad respiratoria de todos los organismos multicelulares y muchos organismos unicelulares (Cordero 2020).

El mismo autor señala que la fotosíntesis es un proceso vital y central en el ecosistema mundial, debido a múltiples razones. La primera y más evidente es que produce oxígeno (O₂), un gas indispensable para la respiración tanto en el agua como en el aire. Sin plantas, la mayoría de los seres vivos (incluyendo el ser humano) sencillamente no podrían sobrevivir.

A las plantas les corresponde un papel de gran importancia: a través de la fotosíntesis son capaces de captar y de fijar energía de su entorno -radiación solar- y en su desarrollo alcanzan masas muy superiores a las del resto de los seres vivos; aproximadamente el 99 % de la masa total de los seres vivos (biomasa) sobre la tierra corresponde a la masa vegetal (fitomasa). La cubierta vegetal representa a través de este extraordinario desarrollo en masa un factor de estabilización en el ciclo de los elementos e influye decisivamente en el clima (Lallana 2004).

Sin el proceso de la fotosíntesis no sería posible la presencia del oxígeno en la atmósfera. Son muchos los seres vivos que dependen del oxígeno que se libera durante la fotosíntesis. Y no solo del oxígeno desprendido, sino que la mayor parte de estructuras de los seres vivos para su desarrollo necesitan los productos orgánicos formados durante la fotosíntesis junto a materia inorgánica del propio medio ambiente. Por tanto, puede decirse que la materia que forma a los seres vivos está formada por materia orgánica. Pero quizá el hombre depende de forma más directa de la fotosíntesis que el resto de los animales, las plantas y animales que emplean el oxígeno con una misión única de subsistencia; mientras que el

hombre no solo necesita la fotosíntesis para existir, sino por la creciente demanda de alimentos, el aumento de las necesidades hace que dependamos de una mayor cantidad de oxígeno y por tanto de fotosíntesis (Puma s.f.)

El mismo autor expresa que la fotosíntesis es importante por lo siguiente:

- La síntesis de materia orgánica a partir de la inorgánica se realiza fundamentalmente mediante la fotosíntesis; luego irá pasando de unos seres vivos a otros mediante las cadenas tróficas, para ser transformada en materia propia de los diferentes seres vivos.
- Produce la transformación de la energía luminosa en energía química, necesaria y utilizada por los seres vivos.
- En la fotosíntesis se libera oxígeno, que será utilizado en la respiración aerobia como oxidante.
- La fotosíntesis fue causante del cambio producido en la atmósfera primitiva, que era anaerobia y reductora
- De la fotosíntesis depende también la energía almacenada en combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural.
- El equilibrio necesario entre seres autótrofos y heterótrofos no sería posible sin la fotosíntesis.
- Se vuelve a utilizar el CO₂, producido por los animales y por los procesos de putrefacción o descomposición. De otra manera el CO₂, saturaría el planeta.
- Se restituye el oxígeno al aire y se hace posible la respiración.

1.5.3. Fases de la Fotosíntesis.

1.5.3.1. Fase lumínica o luminosa.

En la fase fotoquímica o luminosa, las plantas utilizan la energía luminosa llamada fotón. Esta energía luminosa es absorbida por la clorofila, por lo tanto, es nuestra misión proporcionarles a las plantas los elementos nutricionales necesarios para que puedan sintetizar cantidades importantes de clorofila y de esta manera capturen la mayor cantidad de energía luminosa. La fase fotoquímica tiene dos fotosistemas: FS II y FS I (Esquivel 2006).

Es la fase en donde se transforma la energía luminosa en química que es usada por todos los seres vivos. Los vegetales son el primer y único eslabón productor de la cadena trófica. Esta fase depende de la luz que reciben los cloroplastos de las células vegetales que son captados por medio de la clorofila, esta energía lumínica descompone el agua en Oxígeno e Hidrógeno, liberándose el Oxígeno y generándose 2 moléculas por medio del movimiento de sus electrones de un nivel a otro liberando energía para producir la molécula ATP y el poder reductor que es la molécula NADPH₂, que aportaran a la fase siguiente energía química para la transformación de CO₂ en Hidratos de carbono (Ocampo 2014).

La fase luminosa de la fotosíntesis consiste en la transformación de la energía lumínica en energía química (bajo la forma de moléculas de ATP) y en la obtención de un agente reductor de alta energía (la coenzima reducida NADPH). Dentro de esta fase luminosa, ocurren cuatro sucesos importantes:

- Excitación Fotoquímica de la Clorofila. La energía luminosa altera o excita ciertos electrones de la molécula de clorofila y estos son transferidos a moléculas aceptoras de electrones. Gracias a esto, las moléculas de clorofila se oxidan.
- Foto oxidación del H₂O (fotólisis). La molécula de agua se rompe y libera O₂, electrones y protones (H⁺).
- Foto reducción del NADP. Este capta los electrones desprendidos de la clorofila y los protones provenientes del agua, la cual forma NADPH (el cual es utilizado en la etapa independiente de la luz).
- Foto fosforilación del ADP. Formación del ATP a partir del ADP + P + Energía Liberada en el salto de electrones de la oxidación de las moléculas de clorofila. Estos procesos se producen mediante la interacción de dos fotosistemas: El 1 y el 2.



a) El fotosistema 1 capta la luz, cuya longitud de onda sea menor o igual a 700 nm (nanómetros). Actúan moléculas de clorofila A que absorben máximamente a 700 nm y se llaman P700.

b) El fotosistema 2 reacciona con moléculas de clorofila B que absorben en un máximo de 680 nm y son llamados P680 (García 2005).

La fase luminosa consiste en la transferencia de energía lumínica en química bajo la forma de ATP, y en la obtención de una fuente reductora de alta energía: la coenzima NADPH. Como subproducto de esta etapa se obtiene O₂. La etapa lumínica se lleva a cabo en las granas del cloroplasto. La etapa lumínica, se desencadena cuando el fotosistema I (PS I) absorbe un fotón, este PS I emite un electrón que es aceptado por una proteína, la Ferredoxina. Este fotosistema queda por lo tanto con carga positiva. La Ferredoxina ahora reducida, transporta electrones al NADP⁺ el cual, juntamente con H⁺ provenientes de la fotooxidación del H₂O, es reducido a NADPH. Por otro lado, el PS II también es excitado por la luz y sus electrones son llevados a un nivel de alta energía donde son aceptados sucesivamente por una cadena transportadora específica. Finalmente, los electrones son aceptados por el PS I que había quedado positivo, restituyendo así su estado inicial. El flujo de electrones desde el PS II al I es un transporte exergónico, esta energía se emplea para bombear H⁺ a través de la membrana tilacoidal hacia el interior de ésta. Mientras tanto el PS II que había quedado con carga positiva, para recuperar su estado inicial, promueve la oxidación (fotólisis) del H₂O y capta sus electrones, quedando así restituida su carga eléctrica. Pero además se producen H⁺ que contribuyen a la reducción de la coenzima NADPH. El O₂ que resulta de la oxidación de la molécula de H₂O, se libera al medio (Ripa 2008).

La fase luminosa se realiza en los tilacoides (membranas de las láminas y de las granas) y se llama así pues es la fase que requiere la luz de manera directa. Las granas son estructuras que se encuentran dentro de los cloroplastos y contienen la clorofila y los carotenoides que son los pigmentos responsables de la fotosíntesis. Esta fase tiene como objetivo la obtención de NADPH y ATP. Para ello se realizan los siguientes procesos:

1) La clorofila absorben la energía luminosa.

- 2) Descomponen el agua en $2H^+ + 2e^-$ y un átomo de oxígeno.
- 3) El transporte de electrones genera ATP.
- 4) Los protones y electrones son empleados para reducir el $NADP^+$ a NADPH (Sánchez 2010).

El autor mencionado anteriormente también indica que en la fase luminosa se distinguen dos vías:

a) **La fotofosforilación cíclica:** en esta vía la luz va a desencadenar un transporte cíclico de electrones a través de los tilacoides con producción sólo de ATP. Es la reacción foto dependiente más sencilla, ya que sólo participa el fotosistema 1 y su mecanismo es cíclico, ya que los electrones excitados de la molécula P700 del Centro de Reacción vuelven a su origen. Los electrones se transfieren en una cadena de transporte de electrones dentro de la membrana tilacoidal. Al igual que en la fotofosforilación acíclica, los electrones van pasando de un aceptor a otro y van perdiendo energía, la cual una parte es utilizada para bombear protones a través de la membrana tilacoidal. Por cada dos electrones que entran en la fotofosforilación cíclica se sintetiza una molécula de ATP por quimiosmosis. Es importante indicar que el ya mencionado Centro de Reacción está constituido por 3 moléculas:

- Una molécula de clorofila especial, denominada clorofila diana, a la que van a parar los electrones excitados en la antena, y que ella transfiere al denominado aceptor primario de electrones.
- Una molécula denominada aceptor primario de electrones, que transfiere los electrones fuera del fotosistema.
- Una molécula denominada dador primario de electrones, que cede electrones a la molécula diana.

b) **La fotofosforilación acíclica:** la luz va a desencadenar un transporte de electrones a través de los tilacoides con producción de NADPH y ATP. Los electrones serán aportados por el agua. En esta reacción, participan los dos fotosistemas y comienza cuando se energiza la molécula P700 (perteneciente al fotosistema 1) con la absorción de luz. La molécula P700 transfiere dos electrones a un aceptor llamado $NADP^+$ (es positivo, ya que se encuentra oxidado), estos

electrones se unen a los protones del NADP y forma hidrógeno, el cual queda como NADPH. En el fotosistema 1 no podrán emitirse más electrones, sin importar cuanto se excite, sólo se podrá obtener electrones desde el NADP para transformarlo al NADPH a través del fotosistema 2. El fotosistema 1 y 2 son activados por fotones de energía luminosa y cede dos electrones a un aceptor primario de electrones. Estos electrones van pasando por una cadena de aceptores de fácil oxidación y reducción (redox). A medida que se van transfiriendo, van perdiendo energía, en la cual parte de la energía es usada para la síntesis de ATP por quimiosmosis. Al final de este proceso la clorofila A en el centro de reacción del fotosistema 2 carece de electrones, los cuales son sustituidos con electrones provenientes del agua. Cuando la molécula P680 absorbe energía luminosa, ejerce atracción sobre los electrones de la molécula de agua. Esta molécula se fotoliza, ósea, usa el hidrógeno para formar NADPH y liberar el producto oxígeno (O₂).

La fase lumínica es un conjunto de reacciones dependientes de la luz. Tiene lugar en el espacio tilacoidal y la membrana de los tilacoides de los cloroplastos, donde se localizan los fotosistemas y otros complejos multiproteicos que participan en la captación de la energía lumínica y su conversión en energía química, tanto en forma de poder reductor (NADPH) como en forma de energía libre (ATP). Consta de dos acontecimientos importantes, de los que derivan 3 consecuencias fundamentales:

- Fotólisis del agua: La energía de la luz rompe la molécula de agua, liberándose O₂ (consecuencia 1) a la atmósfera y reteniendo el H por la coenzima NADP, que pasa a su forma reducida NADPH (obtención poder reductor: consecuencia 2).
- Fotofosforilación: La energía luminosa se emplea en la formación de ATP (consecuencia 3).

La reacción que representa esta fase sería:



El NADP reducido (NADPH) y el ATP se producen en las reacciones dependientes de la luz (Tenorio 2005).

1.5.3.2. Fase oscura.

En la fase oscura ya no interviene la luz y las moléculas formadas en la fase luminosa (ATP y NADPH) participan en la reducción del dióxido de carbono (CO₂) mediante una serie de reacciones (Ciclo de Calvin), en donde se combina CO₂ con RDP (difosfato de ribulosa) para formar PGA (ác. Fosfoglicérico). Se combina PGA con NADPH y ATP por lo que se libera agua, se forma PGAL (gliceraldehído-3-fosfato) para la nutrición de la planta, y luego se produce glucosa a partir de PGAL. Este azúcar se disuelve en agua y recorre toda la planta proporcionándole la energía necesaria para crecer. Se transforma materia inorgánica en orgánica: a partir de la fuente de carbono del dióxido de carbono del aire (Ocampo 2014).

La fase oscura de la fotosíntesis es el conjunto de reacciones independientes de la luz. Tiene lugar en el estroma de los cloroplastos y en ella ocurre la reducción de la materia inorgánica, que se convierte en orgánica. El H necesario lo proporciona el NADPH y la energía el ATP, que se produjeron en la fase luminosa. La reacción que representa esta fase sería:



El CH₂O representa una molécula orgánica hidrocarbonada que podría ser un monosacárido, la glicerina, un ácido graso, etc. El NADPH y el ATP de las reacciones dependientes de la luz sirven como fuente de energía para llevar a cabo las reacciones independientes de la luz y reducir la materia inorgánica (Tenorio 2005).

La fase oscura o Ciclo de Calvin consiste en la reducción de moléculas de CO₂ para formar glúcidos mediante las fuentes de energía (ATP) y la fuente reductora (NADPH) obtenidas en la etapa clara o luminosa. La etapa oscura ocurre en la matriz del cloroplasto con la intervención de numerosas enzimas que actúan en un ciclo. En el estroma existe una molécula que acepta la adición de CO₂: la ribulosa difosfato (de 5 carbonos) que forma un compuesto transitorio de 6 C, que rápidamente se hidroliza dando 2 moléculas de fosfoglicerato (PGA) (cada molécula de PGA contiene 3 átomos de carbono). La enzima que cataliza esta reacción es la ribulosa difosfato carboxilasa (RUBISCO) localizada en la superficie estromal de las membranas tilacoidales. El PGA se convierte en difosfoglicerato mediante el gasto de un ATP, es necesaria la participación del NADPH para reducir al difosfoglicerato y convertirlo en gliceraldehído fosfato (PGAL), un azúcar de 3 C. Dos de estas

triosas (PGAL) se condensan y forman una hexosa: la fructosa 1,6 difosfato, a la brevedad uno de los grupos fosfatos es eliminado enzimáticamente para producir fructosa 6 fosfato, la cual experimenta un reacondicionamiento molecular para convertirse en glucosa 6 fosfato. Este último compuesto puede ser incorporado a una molécula de almidón para ser almacenado. Para que continúe el ciclo es necesario regenerar la ribulosa difosfato. El resto de las moléculas de PGAL se destinan a la regeneración de este compuesto. Durante esta etapa se producen condensaciones, hidrólisis y reordenamientos, con intermediarios de 3, 4, 5, 6, 7 carbonos. Finalmente se forma ribulosa monofosfato que, mediante gasto de ATP, es fosforilada a ribulosa difosfato, con lo cual se cierra el ciclo. Para sintetizar una molécula de glucosa se necesitan 6 vueltas del ciclo de Calvin puesto que en cada una de ellas se reduce una molécula de CO₂. Para fosforilar 12 moléculas de PGAL y convertirlas en 12 moléculas de difosfoglicerato se necesitan 12 ATP, mientras que se emplean 12 de NADPH para reducir 12 moléculas de difosfoglicerato a gliceraldehído fosfato. Luego se consumen otras 6 moléculas de ATP en la regeneración de la ribulosa difosfato (Ripa 2008).

Aquí se utilizan los productos de la fase lumínica. Las reacciones de la fase oscura o Ciclo de Calvin comienzan con una molécula de un glúcido de 5 átomos de C (ribulosa 1,5-difosfato) a la que se une una molécula de CO₂. Se forma entonces un compuesto intermediario inestable que se desdobla inmediatamente en dos moléculas de ácido fosfoglicérico (PGA), con 3 átomos de C cada una.



El PGA se fosforila reaccionando con un segundo P y formando un PGA~P (de esta manera eleva su contenido energético y se hace más reactivo al convertirlo en un compuesto de alta energía).



difosfoglicerato

Cada molécula de PGA~P acepta un átomo de H del NADPH (el que quedará oxidado: NADP⁺). Al mismo tiempo se forma agua con el átomo de O eliminado de cada molécula de PGA~P. El producto final incluye a un aldehído (PGAL: gliceraldehido-fosfato)



Por cada 6 moléculas de PGAL formado, 5 se utilizan para reconstruir la ribulosa 1,5-difosfato y la restante es el producto orgánico formado en el proceso de fotosíntesis. Una parte del PGAL se utiliza inmediatamente en la célula fotosintética y otra parte es convertida a hexosas, destinadas a reservas o gastos energéticos en otras partes de la planta. La glucosa es una de las hexosas más importantes y junto con la fructosa forma la sacarosa, la cual es utilizada como sustancia de almacenamiento y de transporte. Un producto de almacenamiento más estable es el almidón (Aguilar et al. 2012).

Esta fase se inicia con la captura del CO₂ de la atmósfera por un compuesto llamado Ribulosa 1,5 difosfato gracias a la enzima RuBisCO, y origina un compuesto inestable de seis carbonos, que se descompone en dos moléculas de ácido 3- fosfoglicérico (PGA). Se trata de moléculas constituidas por tres átomos de carbono, por lo que las plantas que siguen esta vía metabólica se llaman C₃. Si bien, muchas especies vegetales tropicales que crecen en zonas desérticas, modifican el ciclo de tal manera que el primer producto fotosintético no es una molécula de tres átomos de carbono, sino de cuatro (un ácido dicarboxílico), constituyéndose un método alternativo denominado vía de la C₄, al igual que este tipo de plantas. Luego se produce la reducción del dióxido de carbono fijado. Por medio del consumo de ATP y del NADPH obtenidos en la fase luminosa, el ácido 3- fosfoglicérico se reduce a gliceraldehído 3-fosfato (PGAL), que puede seguir caminos diversos. La primera vía consiste en la regeneración de la ribulosa 1-5- difosfato (la mayor parte del producto se invierte en esto). Otras rutas posibles como la biosíntesis de: aminoácidos, ácidos grasos, glucosa, fructosa y almidón. La regeneración de la ribulosa-1,5-difosfato se lleva a cabo a partir del gliceraldehído 3- fosfato, por medio de un proceso complejo donde se suceden compuestos de cuatro, cinco y siete carbonos, semejante al ciclo de las pentosas fosfato en sentido inverso (en el ciclo de Calvin, por cada molécula de dióxido de carbono que se incorpora se requieren dos de NADPH y tres de ATP) (Esquivel 2006).

1.5.4. Diferencias de la fotosíntesis entre las plantas C₃ y C₄.

Los vegetales con ruta metabólica **C₃** representan aproximadamente el 89 % de las plantas vasculares del planeta y la mayor parte de los cultivos poseen este tipo de mecanismo. Algunos ejemplos son: arroz, trigo, cebada, soya, pimiento,

tomate. Tienen el nombre de plantas C3 debido a que durante la segunda fase de la fotosíntesis (fase oscura), en las reacciones de carboxilación del Ciclo de Calvin, el primer elemento que se forma es el ácido fosfoglicérico (3-PGA), que posee 3 carbonos, producto de la combinación entre la ribulosa difosfato (5C) con el CO₂. La enzima responsable de dicha reacción se denomina ribulosa-bifosfato, conocida como Rubisco. Aunque la principal función de esta enzima es fungir como un catalizador para la carboxilación, también puede actuar como oxigenasa; lo que significa que, en presencia de luz, el oxígeno compite con el dióxido de carbono por los lugares activos de la enzima, lo que provoca una pérdida de CO₂ (fotorespiración), con lo que se reduce la capacidad fotosintética de la planta. La fotorespiración es un fenómeno que tiene relación con el cierre de los estomas parcial o total de la planta y es un proceso que impacta en la productividad de los cultivos, debido a que la enzima que fija el carbono en el Ciclo de Calvin (Rubisco), fija O₂ en lugar del CO₂, lo que se traduce en un desperdicio de energía (ATP). La fotorespiración se ve favorecida cuando la planta está sometida a estrés por elevadas temperaturas, estrés hídrico o estrés salino (INTAGRI 2018).

El mismo autor manifiesta que la ruta metabólica **C4** forma parte de la evolución de las plantas para evitar la fotorespiración. Es una adaptación de las plantas para tener una eficiencia en el uso del agua mayor que las plantas C3. El porcentaje de plantas C4 es menor al de las plantas C3, sin embargo, aquí encontramos cultivos de importancia económica: maíz, caña de azúcar, sorgo, amaranto. Reciben el nombre de plantas C4 debido a que el primer compuesto que forman en el proceso es el ácido oxaloacético (compuesto de 4 carbonos producto de la combinación entre el fosfoenol-piruvato (PEP) con el CO₂) que rápidamente se convierte en otro compuesto llamado malato. La enzima responsable de la reacción de carboxilación es la fosfoenol-piruvato carboxilasa (PEPc). Dicho esto, podemos decir que la particularidad de las plantas C4 como resultado de su evolución es que el CO₂ de la atmósfera es capturado y fijado en dos compartimentos diferentes. En primer lugar, el CO₂ es capturado dentro de células especializadas llamadas mesofílicas, donde es fijado como HCO₃⁻, por la anhidrasa carbónica (AC) para ser tomada a continuación por la enzima PEPc que incorpora el carbono en un ácido C4. Luego, dicho ácido C4 es llevado hacia la vaina del haz vascular por la acción de acarreadores específicos ATP dependientes, lo que da lugar a la descomposición

(descarboxilación) de los ácidos C₄, generando una gran concentración de CO₂ en las células de la vaina e inhibiendo de esta forma la fotorespiración. Es importante señalar que la descarboxilación según la especie es llevada por alguna de las siguientes enzimas: Málico-NADP, Málico-NAD o PEP Carboxiquinasa. Al final, el CO₂ es fijado por la enzima Rubisco e incorporado al Ciclo de Calvin. Esta adaptación en las plantas C₄ para transportar de forma efectiva el CO₂ consume energía (2 ATP) por molécula de CO₂ transportada; sin embargo, las plantas C₄ compensan dicho gasto energético mayor con una mejor eficiencia en el uso del agua, mayor crecimiento y eficiencia en la fotosíntesis a altas temperaturas. Cabe señalar, que esta adaptación está encaminada al uso eficiente del agua, pero no a la tolerancia al estrés hídrico.

El ciclo C₃ es un proceso autocatalítico que involucra 13 etapas, las cuales transcurren en el estroma de los cloroplastos de las células fotosintéticas, y que pueden ser agrupadas en tres fases: carboxilación, reducción y regeneración. La reacción de carboxilación es catalizada por la enzima ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa (RuBisCO) que combina a la molécula aceptora ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP) con el CO₂. El compuesto resultante es inestable, generando dos moléculas de 3-fosfoglicerato. En la fase reductiva, este compuesto es fosforilado y reducido para formar gliceraldehído-1,3-bisfosfato (3-PGAL) utilizando el ATP y el NADPH producidos en la fase luminosa de la fotosíntesis. La regeneración de la RuBP es la fase final del ciclo, y requiere ATP y diez de las trece enzimas involucradas en esta vía. La mayoría del 3-PGAL producido es utilizado para regenerar el aceptor inicial RuBP. Sólo una de cada seis moléculas es liberada del ciclo. Así, las triosas-P producidas son utilizadas para sintetizar almidón en los mismos cloroplastos o bien exportadas para generar sacarosa en el citosol, la cual es transportada a través del floema hacia los tejidos no fotosintéticos para ser utilizada como fuente de energía y/o almacenamiento. La asimilación del CO₂ puede resumirse de la siguiente manera: (Lara et al. 2010).



El mismo autor menciona que la fotosíntesis C₄ es una adaptación de la vía C₃ que supera la limitación de la fotorrespiración, aumentando la eficiencia

fotosintética y minimizando la pérdida de agua en ambientes secos y/o de altas temperaturas. Las plantas que poseen esta vía fotosintética son denominadas plantas C4, siendo la mayoría nativas de los trópicos y climas cálidos con elevadas intensidades de luz y altas temperaturas. Bajo estas condiciones, estas especies exhiben altas velocidades de crecimiento y de fotosíntesis debido a la ganancia en la eficiencia del uso de agua, carbono y nitrógeno. Algunos de los cultivos y pasturas más productivos del mundo como maíz, caña de azúcar, sorgo y amaranto son plantas C4; además de muchas de las malezas. En estas plantas, la fotorrespiración es suprimida al elevar la concentración de CO₂ en el sitio de localización de la RuBisCO, evitando la actividad oxigenasa de la enzima. Esto se logra a través de una bomba de CO₂ basada en la separación espacial de la fijación con respecto a la asimilación del CO₂. De esta manera, la mayoría de las especies poseen una anatomía particular en la cual las células mesofílicas (CM) y las células de la vaina vascular (CVV) cooperan para fijar el CO₂. Existen algunas diferencias anatómicas entre las mencionadas células que están organizadas en dos cilindros concéntricos, denominándose a esta anatomía como Kranz. En general, las hojas de estas especies muestran extensiva vascularización, las CVV centrales rodean cada vaina vascular y las CM rodean a este anillo central. Las CVV están separadas de las CM y del aire de los espacios intercelulares por una lamela que es altamente resistente a la difusión del CO₂ y del O₂. Además, la pérdida de CO₂ está limitada debido a la mínima exposición de la superficie celular al espacio intercelular. La difusión simplástica de metabolitos está favorecida por los numerosos plasmodesmos que comunican a las CM con las CVV.

Además, manifiesta que el metabolismo C4 se caracteriza por la separación espacial de los procesos de carboxilación y decarboxilación. Básicamente, en una primera etapa la carboxilación del fosfoenolpiruvato (PEP) por el fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC) en el citosol de las CM produce un ácido orgánico de cuatro átomos de carbono (C4) que es transportado a las CVV donde es decarboxilado para generar el CO₂ que es fijado, posteriormente, por la RuBisCO en el CRPF. La reacción de decarboxilación también da lugar a la formación de un ácido orgánico de tres átomos de carbono (C3), que retorna a las CM para regenerar el PEP en la reacción catalizada por el piruvato ortofosfato diquinasa (PPDK). La PEPC, a diferencia de la RuBisCO, no reacciona con el CO₂ ni con el O₂ y la anhidrasa

carbónica (AC) en el citosol de las CM provee a la enzima de HCO_3^- . Existen variaciones en el metabolismo C4 según las enzimas decarboxilantes y los metabolitos transportados; así, el proceso de decarboxilación ocurre de tres maneras diferentes, usando principalmente una de las siguientes enzimas: EM-NADP, EM-NAD o PEP-CK.

La fotosíntesis C3 es un proceso de múltiples pasos en que el carbono en forma de CO_2 es fijado en productos orgánicos estables, esto ocurre virtualmente en todas las células del mesófilo en la hoja. En el primer paso, la Ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa (Rubisco) combina Ribulosa bifosfato (RuBP) (una molécula de 5 carbonos) con el CO_2 para formar dos moléculas de fosfoglicerato. Sin embargo, la Rubisco es una enzima capaz de catalizar dos reacciones distintas: una para formar dos moléculas de fosfoglicerato cuando el CO_2 es el sustrato y la otra da como resultado una molécula de fosfoglicerato y fosfoglicolato (molécula de 2 carbonos) cuando el oxígeno es el sustrato. Esta última función de oxigenasa da como resultado una fijación menor de carbono y eventualmente es muy importante para la producción de CO_2 en un proceso llamado fotorespiración. La proporción de Rubisco que puede catalizar CO_2 y O_2 es dependiente de la relación $[\text{CO}_2]/[\text{O}_2]$, a su vez esta relación es dependiente de la temperatura, ya que la actividad oxigenasa incrementa de manera proporcional a la temperatura. Esta dependencia de Rubisco sobre la relación $[\text{CO}_2]/[\text{O}_2]$ establece una firme relación entre las condiciones atmosféricas actuales y la actividad fotosintética. Como consecuencia de la sensibilidad de Rubisco por el O_2 la eficiencia de la fotosíntesis C3 disminuye cuando el CO_2 atmosférico también lo hace (Vargas 2010).

El mismo autor expresa que para el caso de la fotosíntesis C4 esta resulta ventajosa en condiciones de baja concentración de CO_2 y/o altas temperaturas. Este tipo de fotosíntesis representa una modificación bioquímica y morfológica del tipo C3 para reducir la actividad oxigenasa de la Rubisco y poder incrementar la tasa de fotosíntesis en ambientes con baja concentración de CO_2 . En las plantas C4, el ciclo C3 de la fotosíntesis está restringido al interior de las células de la hoja (haz de la vaina). Estas células del haz de la vaina son células del mesófilo en las cuales se encuentra una enzima mucho más activa, la Fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPc) la cual fija CO_2 en oxaloacetato, un ácido de cuatro carbonos. El ácido de cuatro carbonos se difunde desde las células del mesófilo hasta las células del haz de la

vaina, donde es descarboxilado y refijado en la ruta de tipo C3. Como resultado de la alta actividad de PEP carboxilasa, el CO₂ se concentra en las regiones donde Rubisco está localizada, de esto resulta una alta relación [CO₂]/[O₂] y así se disminuye el proceso de la fotorespiración. El costo adicional de la fotosíntesis C4 es el requerimiento de Adenosina trifosfato (ATP), el cual se asocia con la regeneración de Fosfoenol piruvato (PEP) a partir de piruvato.

1.6. Hipótesis.

H0: Las Biomoléculas que se producen en el proceso de la fotosíntesis de las plantas superiores C3 y C4 no son importantes.

H1: Las Biomoléculas que se producen en el proceso de la fotosíntesis de las plantas superiores C3 y C4 son importantes.

1.7. Metodología de la investigación.

Consistió en la investigación bibliográfica de diferentes bases teóricas y científicas manifestadas por varios autores (páginas web, material publicado, e-books, enciclopedias, periódicos, tesis, tesinas, papers, review, artículos y revistas) en referencia al tema de estudio, lo que permitió fundamentar los objetivos planteados.

CAPÍTULO II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Desarrollo del caso.

El presente trabajo correspondió al componente práctico del examen de grado de carácter complejo, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, realizado mediante la investigación bibliográfica en diferentes sitios web, en base al tema de estudio “Importancia de las Biomoléculas que se producen en el proceso de la fotosíntesis de las plantas superiores C3 y C4”.

2.2. Situaciones detectadas.

Siempre se ha conocido que la fotosíntesis es un proceso que realizan los organismos autótrofos mediante el cual transforman la energía luminosa en energía química; pero luego de realizar este trabajo, se ha podido detectar que la fotosíntesis es un proceso mucho más complejo de lo que parece.

La fotosíntesis se realiza en dos fases: fase luminosa o lumínica y fase oscura o Ciclo de Calvin.

En las dos fases de la fotosíntesis se forman diversas biomoléculas, cada una de las cuales cumplen funciones específicas para que los procesos fotosintéticos se realicen de manera adecuada.

En cuanto a la fotosíntesis de las plantas C3 y C4, existen diferencias entre ambas, las cuales se dan en la fase oscura o Ciclo de Calvin.

2.3. Soluciones planteadas.

Es necesario que las plantas cuenten con los nutrientes necesarios para que los procesos fotosintéticos ocurran de forma adecuada, tanto en la fase luminosa como en la fase oscura.

Debe existir una cantidad óptima de luminosidad u horas luz para que las plantas realicen la fotosíntesis adecuadamente, sobre todo en las plantas C4, las cuales presentan una mejor eficiencia en el uso del agua, mayor crecimiento y eficiencia en la fotosíntesis a altas temperaturas.

Las plantas deben ser fertilizadas de manera óptima y oportuna, con el fin de que en la fase oscura exista una correcta concentración de la enzima Rubisco, la cual es la encargada de la fijación de dióxido de carbono (CO₂). Con esto garantizaremos la producción de glucosa y otros carbohidratos.

2.4. Conclusiones.

La fotosíntesis es el proceso principal, por el cual la energía libre en el ambiente se hace disponible al mundo viviente. Los organismos autótrofos captan la energía luminosa y la transforman en energía química. Mediante este proceso se forma un carbohidrato y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y el agua.

En la fase lumínica las plantas capturan la energía luminosa para romper la molécula de agua y formar energía química llamada: ATP (adenosin – trifosfato) y NADPH (nicotinamida - adenin – dinucleótido). La síntesis del NADPH se forma a partir del NADP⁺, el cual acepta electrones. La síntesis de adenosin - trifosfato (ATP) se forma a partir del adenosin - difosfato (ADP) y el fosfato inorgánico (Pi). Estas dos formas de energía química son utilizadas en la fase oscura o Ciclo de Calvin. En la fase luminosa ocurre la liberación de oxígeno.

La energía producida en la fase luminosa en forma de ATP y NADPH es utilizada en la fase oscura para la síntesis de materia orgánica, fijando el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera para convertirlo en glucosa. En la fase oscura o Ciclo de Calvin se convierten moléculas inorgánicas de dióxido de carbono en moléculas orgánicas sencillas como: ácido 3-fosfoglicérico (PGA), gliceraldehído 3-fosfato (PGAL), a partir de las cuales se formará el resto de los compuestos bioquímicos que conforman las plantas como: aminoácidos, ácidos grasos, glucosa, fructosa, almidón, etc.

Las diferencias de la fotosíntesis de las plantas C3 y C4 se dan en la fase oscura o Ciclo de Calvin. La fotosíntesis C4 supera la limitación de la fotorrespiración, aumentando la eficiencia fotosintética y minimizando la pérdida de agua. Dicho de otra forma, las plantas C3 son consideradas plantas “normales” que no poseen adaptaciones fotosintéticas para reducir la fotorrespiración; mientras que en las plantas C4 siempre hay una alta concentración de CO₂ en comparación con O₂ alrededor de la Rubisco, estrategia que reduce al mínimo la fotorrespiración.

2.5. Recomendaciones.

De acuerdo a lo investigado en el presente trabajo podemos recomendar lo siguiente:

Realizar la siembra de plantas C4, ya que estas tienen la capacidad de fijar CO₂ con facilidad, y por lo tanto producen mayor cantidad de oxígeno, el cual es necesario para la vida de todas las especies del planeta; además estaremos contribuyendo a la disminución de la contaminación atmosférica, ya que el dióxido de carbono es una de los principales gases del efecto invernadero.

Aplicar un adecuado programa de fertilización para que de esta manera los cultivos tengan los nutrientes necesarios para realizar un óptimo proceso de fotosíntesis.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M; Navarro, D; Nieto, S; Ramírez, C. 2015. EL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS EN PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES, DESDE EL ANÁLISIS DE SUS MODELOS MENTALES (en línea). Barranquilla - Colombia, Fundación Universidad del Norte. 182 p. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7592/mariela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Aguilar, A; Tognetti, C; Chaia, E; Gobbi, M. (2012). Guía de trabajos prácticos. Biología general (en línea). Argentina - Bariloche, Universidad Nacional del Comahue. 166 p. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en <http://crubweb.uncoma.edu.ar/cms/images/archivos/guia%20de%20TP%20biologia%20general.pdf>.

Azcón-Bieto, J; Fleck, I; Aranda, X; Gómez, N. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal. Capítulo 13: Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático (en línea). Segunda Edición. España, Publicacions i Edicions. 669 p. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FisioVegetal/13.pdf>.

Cordero, R. 2020. La fotosíntesis y sus etapas en el proceso de producción de glucosa en las plantas (en línea). Los Ríos - Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 29 p. Consultado 6 feb. 2021. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8501>.

Esquivel, G. 2006. Fotosíntesis y Respiración (en línea). s.l., DRAKOSA - PERÚ. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Fotosintesis_y_Respiracion.pdf.

Gagneten, A; Imhof, A; Marini, M; Zabala, J; Tomas, P; Amavet, P; Ravera, L; Ojea, N. 2015. Biología - Conceptos básicos. Metabolismo (en línea). s.l., Universidad Nacional del Litoral. p. 9. Consultado 6 feb. 2021. Disponible en http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/biologia/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/BIO_03.pdf.pdf.

García, J. 2005. La Fotosíntesis (en línea). s.l., s.e. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en https://www.emagister.com/uploads_user_home/Comunidad_Emagister_6008_fotosintesis.pdf.

INTAGRI. (2018). Plantas C3, CA y CAM (en línea). México, INTAGRI - Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. 5 p. Consultado 4 mar. 2021. Disponible en https://www.intagri.com/public_files/125.-Plantas-C3-C4-y-CAM.pdf.

Labarthe, F; Pelta, H. 2009. Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas (en línea). s.l., s.e. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-7__caracteristicas_forrajeras_megatermicas.pdf.

Lallana, V. (2004). Unidad Temática 1: Fisiología Vegetal (en línea). Oro Verde - Paraná - Argentina, Universidad Nacional de Entre Ríos. 7 p. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/UT1_FV.pdf.

Lara, M; Drincovich, M; Andreo, C. 2010. Transiciones metabólicas en la fijación fotosintética del carbono en plantas del género *Portulaca*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas : Fundación Ramón Areces :13.

Ocampo, N. (2014). FOTOSINTESIS (en línea). Hidalgo - México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 8 p. Disponible en https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT110.pdf.

Pérez, E. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Reduca (Biología) (Serie Fisiología Vegetal) 2(3):47.

Puma, A. s.f. IMPORTANCIA DE LA FOTOSÍNTESIS PARA LOS SERES VIVOS Y EL AMBIENTE (en línea). s.l., s.e. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en https://www.academia.edu/12330394/IMPORTANCIA_DE_LA_FOTOS%C3%8DNTESIS_PARA_LOS_SERES_VIVOS_Y_EL_AMBIENTE.

Ripa, M. (2008). MÓDULO: FOTOSÍNTESIS. CÁTEDRA DE BIOLOGÍA (en línea). Argentina - Lomas de Zamora, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. 28 p. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en http://agrarias.unlz.edu.ar/archivos_descargables/rvmaterialdebiologaparaelccf/FOTOS%C3%8DNTESIS.pdf.

Sánchez, J. (2010). C5 - Metabolismo. a - Fotosíntesis (en línea). Oviedo - España, Instituto de Educación Secundaria Pando. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en http://cosmolinux.no-ip.org/recursos_aula/BIO2nBAT/Metabolisme/C5A_FOTOSINTESIS.pdf.

Sánchez, V. 2016. IMPORTANCIA DE LA FOTOSÍNTESIS PARA LA VIDA EN LA TIERRA (en línea). España, Universidad de Jaén. 75 p. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en <http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/2331/1/S%C3%81NCHEZ%20BARAJAS%20C%20V%C3%8DCTOR.pdf>.

Tenorio, G. (2005). Tema 8. Metabolismo, respiración celular y fotosíntesis (en línea). Sevilla - España, Colegio de San Francisco de Paula. 86 p. Consultado 4 mar. 2021. Disponible en http://dpbiologia.weebly.com/uploads/2/1/5/5/21553524/gtp_t8.respiraci%C3%B3n_celular_y_fotos%C3%ADntesis__3%C2%AAparte_fotos%C3%ADntesis__2017-18.pdf.

Vargas, J. 2010. Regulación ambiental de la fotosíntesis de algunas especies de *Clusia L.* (Clusiaceae) en México (en línea). Mérida - Yucatán - México, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. 126 p. Consultado 4 mar. 2021. Disponible en

https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/895/1/PCBP_D_Tesis_2010_Jesus_Vargas_Soto.pdf.