



Área: agrícola
Fecha de recibido: 22-07-2024
Fecha de aceptado: 02-12-2024
DOI: 10.22490/26653176.8304

SALINIDAD, DESBALANCE DE NITRÓGENO, MANGANESO. FUNCIÓN DE AUXINAS, FOTOSÍNTESIS EN PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* JACQ)

SALINITY, NITROGEN IMBALANCE, MANGANESE. AUXIN FUNCTION,
PHOTOSYNTHESIS IN OIL PALM (*Elaeis guineensis* JACQ)

Yessica Paola Jiménez Avendaño
Estudiante de agronomía / UNAD

<https://orcid.org/0009-0004-5444-5109>
ypjimenezav@unadvirtual.edu.co

Yecika Liliana Sánchez Peña
Estudiante de agronomía/ UNAD

<https://orcid.org/0009-0009-4084-237X>
ylsanchezpen@unadvirtual.edu.co

Katherine Bonilla Rúa
Estudiante de agronomía/ UNAD

<https://orcid.org/0009-0003-3578-8117>
kbonillar@unadvirtual.edu.co

Laura Peña Triana
Estudiante de agronomía/ UNAD

<https://orcid.org/0009-0003-4533-6464>
lpenatr@unadvirtual.edu.co

Luis Fernando Londoño Morales
Estudiante de Agronomía / UNAD

<https://orcid.org/0009-0000-3576-052>
lfondonomor@unadvirtual.edu.co

Juan Miguel Arango Astaiza
Estudiante de Agronomía / UNAD

<https://orcid.org/0009-0002-0549-0881>
jmarangoa@unadvirtual.edu.co

Darío Fernando Mejía Terán
Ingeniero Agrónomo, Docente/ UNAD
<https://orcid.org/0000-0003-4267-0822>
dario.mejia@unad.edu.co

Citación: Jimenez-Avendaño, Y.P, Sanchez-Peña, Y.L, Bonilla-Rua, K., Peña-Triana, L., Londoño-Morales, L.F., Arango-Astaiza, J.M. y Mejia-Terán, D.F. (2025). Salinidad, desbalance de nitrógeno, manganeso. Función de auxinas, fotosíntesis en palma de aceite (*Elaeis Guineensis* Jacq). *Agricolae & Habitat*, 8(1), 23 - 62.
<https://doi.org/10.22490/26653176.8304>

RESUMEN

Contextualización: El estudio se centra en la fisiología y el manejo agronómico de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). La comprensión de los factores que afectan su crecimiento y productividad es esencial para asegurar la sostenibilidad y rentabilidad de este cultivo como respuesta al estrés.

Vacío de conocimiento: Existen lagunas en el conocimiento sobre cómo diferentes factores abióticos, como la salinidad, el nitrógeno, el manganeso y las auxinas, afectan su crecimiento y desarrollo. Además, la eficiencia fotosintética de la palma de aceite bajo condiciones de estrés y su manejo agronómico óptimo, presentando preguntas sobre algunas limitaciones que este estudio busca abordar.

Propósito: El principal objetivo del estudio es investigar los efectos de factores abióticos clave en la palma de aceite, como el estrés salino, el balance de nitrógeno, la deficiencia de manganeso, y el papel de las auxinas. Además, se pretende analizar la eficiencia fotosintética de la planta y proponer estrategias de manejo para mejorar su productividad y sostenibilidad.

Metodología: La metodología de revisión de información bibliográfica incluye

búsqueda en bases de datos académicas, selección de artículos relevantes mediante criterios específicos, análisis crítico de los textos seleccionados, y síntesis de la información para identificar tendencias, vacíos y hallazgos clave en la literatura.

Resultados y conclusiones: El estudio reveló que el estrés salino afecta negativamente la absorción de agua y nutrientes, causando desequilibrios iónicos y osmóticos que reducen la fotosíntesis y el crecimiento de la palma de aceite. La deficiencia de nitrógeno resultó en una disminución significativa de la biomasa y eficiencia fotosintética, mientras que su exceso alteró la producción de inflorescencias. La deficiencia de manganeso afectó la fotosíntesis y la salud de las hojas, resaltando la importancia de un manejo adecuado de micronutrientes. Las auxinas demostraron ser efectivas para inducir partenocarpia y aumentar la producción de aceite, aunque su uso requiere un manejo cuidadoso para evitar estrés oxidativo. Finalmente, se concluyó que la gestión precisa de luz, agua y CO₂ es crucial para optimizar la fotosíntesis y la sostenibilidad del cultivo de palma de aceite.

Palabras clave: Fotosíntesis, Palma de aceite, Fotorrespiración, Estrés, Eficiencia fotosintética, Sostenibilidad agronómica

ABSTRACT

Contextualization: The study focuses on the physiology and agronomic management of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). Understanding the factors that affect its growth and productivity is essential to ensure the sustainability and profitability of this crop in response to stress.

Knowledge gap: There are knowledge gaps on how different abiotic factors, such as salinity, nitrogen, manganese and auxin, affect their growth and development. Furthermore, the photosynthetic efficiency of oil palm under stress conditions and its optimal agronomic management raises questions about some limitations that this study seeks to address.

Purpose: The main objective of the study is to investigate the effects of key abiotic factors on oil palm, such as salt stress, nitrogen balance, manganese deficiency and the role of auxin. In addition, the aim is to analyze the photosynthetic efficiency of the plant and propose management strategies to improve its productivity and sustainability.

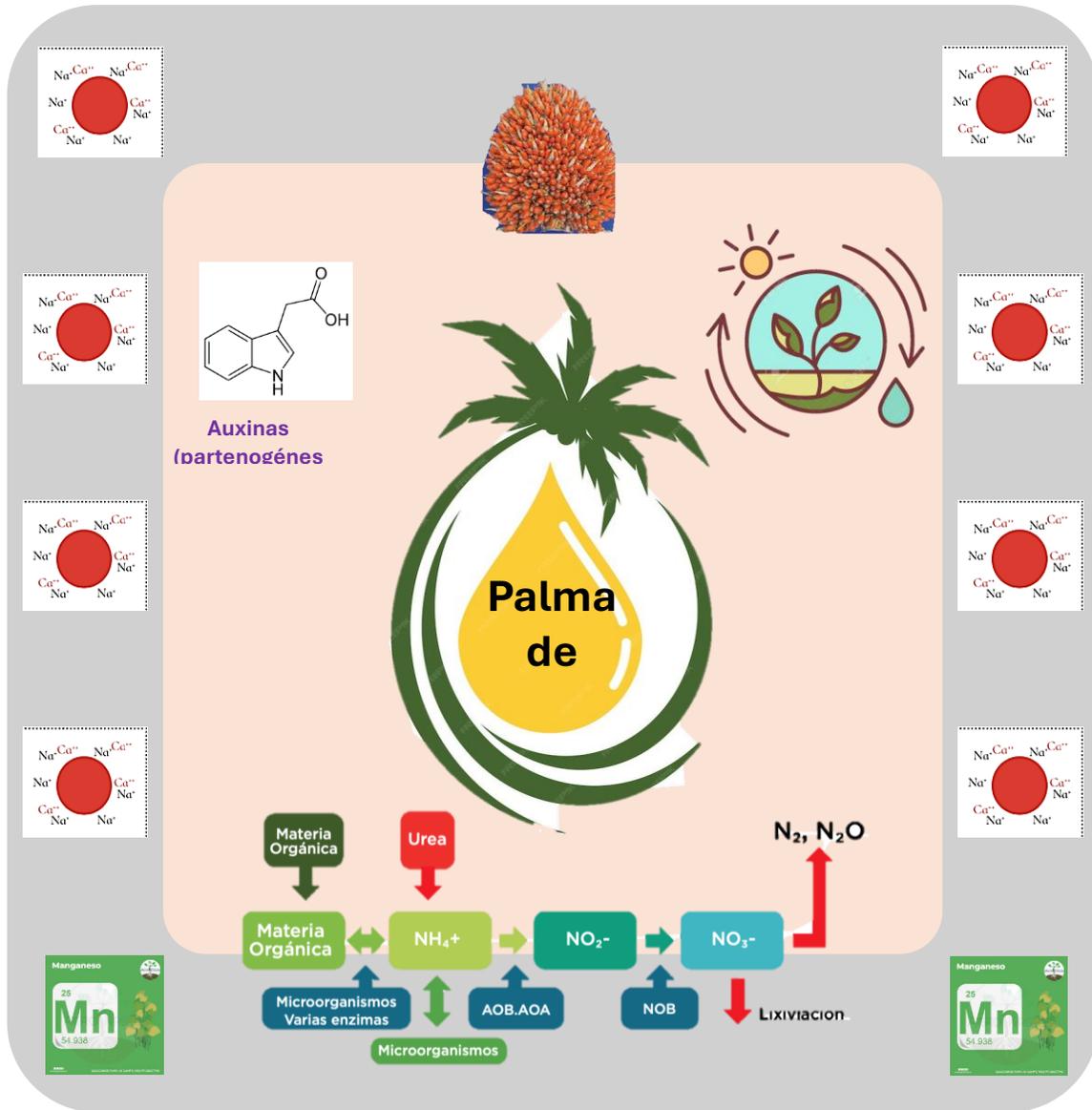
Methodology: The bibliographic information review methodology includes searching academic databases, selecting

relevant articles using specific criteria, critical analysis of the selected texts, and synthesis of the information to identify trends, gaps, and key findings in the literature.

Results and conclusions: The study revealed that salt stress negatively affects the absorption of water and nutrients, causing ionic and osmotic imbalances that reduce photosynthesis and growth of oil palm. Nitrogen deficiency resulted in a significant decrease in biomass and photosynthetic efficiency, while its excess altered inflorescence production. Manganese deficiency affected photosynthesis and leaf health, highlighting the importance of proper micronutrient management. Auxins were shown to be effective in inducing parthenocarpy and increasing oil production, although their use requires careful management to avoid oxidative stress. Finally, it is concluded that the precise management of light, water and CO₂ is crucial to optimize photosynthesis and the sustainability of oil palm cultivation.

Keywords: Photosynthesis; oil palm; Photorespiration; Adverse conditions; Photosynthetic efficiency; Agronomic sustainability

RESUMEN GRÁFICO



El campo de esta investigación se centra en la fisiología y manejo agronómico de la palma de aceite, abordando estrés salino, desbalance de nitrógeno, deficiencia de manganeso y regulación de auxinas. Se investigan respuestas fisiológicas, optimización de prácticas de manejo, y estrategias para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo de palma de aceite. **Fuente:** Autores (2024)

1. INTRODUCCIÓN

En términos generales, las características del clima del suelo y la calidad química del agua de riego son las que determinan la salinización en los suelos en una región (Santamaría -César *et al.*, 2004). Como lo ilustra Partida-Ruvalcaba *et al.* (2006), los suelos se vuelven improductivos por una elevada concentración de sales; lo cual se evidencia cuando dicha concentración aumenta después de un límite óptimo y comienza a producirse los efectos salinos, toda vez que aumenta la presión osmótica en la solución del suelo en relación con la existente en las células de las raíces de los cultivos, afectando la entrada de los iones nutritivos en los pelos radicales y, en consecuencia, la nutrición de las plantas.

Como bien lo describen Parihar *et al.*, (2015); Schiavon *et al.*, (2017), la salinidad del suelo se caracteriza, tanto, por una alta concentración de sales solubles, que reducen el consumo de agua por causa de la disminución del potencial osmótico y el aumento de la conductividad eléctrica del suelo. La presencia de iones en el sustrato provoca un efecto cascada que desequilibra todo el metabolismo de la planta, particularmente el flujo de agua, el sistema fotosintético y la homeostasis iónica. Los suelos salinos se caracterizan por una conductividad eléctrica de 4 o más Siemens/m⁻¹, un pH que oscila entre 7.3 y 8.5, y un contenido de sodio intercambiable inferior al 15%. Estas condiciones pueden limitar el crecimiento y desarrollo óptimos de las plantas, así como restringir las opciones para remediar la acumulación de sales o sodio intercambiable mediante prácticas correctivas (Martínez-Villavicencio *et al.*, 2011). Esta condición salina afecta

directamente la capacidad de la palma para tolerar el estrés asociado, especialmente en su fase de crecimiento inicial Orjuela (2019).

Según Leão *et al.*, (2022), existen dos principales factores de estrés que se manifiestan de formas muy similares en las plantas de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq.) los cuales son: la salinidad y sequía. Se detecta que en la primera fase la planta presenta efectos osmóticos adversos debido a la diferencia hipertónica entre las células y el medio externo. En segundo lugar, se asemejan en la dificultad que presenta la palma aceitera para realizar procesos que le permiten tener recursos para soportar el estrés por factores abióticos, entre estos se encuentra la fosforilación de proteínas y la metabolización de carbohidratos, entre otros.

Según Munns y Tester (2008), el estrés salino tiene dos fases distintas: osmótica e iónica, cuya duración e intensidad varían según la especie de planta y los niveles de sal. Tal como lo sostiene Vieira *et al.*, (2020) la fase osmótica se caracteriza por la inhibición inmediata de la absorción de agua por las raíces de las plantas y ocurre debido a la reducción de la capacidad osmótica del suelo. Se han conocido algunos estudios que resaltan que la palma aceitera es tolerante a la salinidad hasta cierto nivel de concentración de sales en el suelo, creando así beneficios para su crecimiento y propagación (Madison, 2018).

En el ámbito de las deficiencias nutricionales, la escasez de elementos

esenciales como el nitrógeno (N) y el manganeso (Mn) emerge como un factor crítico en la fisiología de las plantas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). El impacto de la carencia de N se manifiesta en síntomas visibles que afectan la fotosíntesis y la producción de biomasa [(Owen (1992); Muñoz *et al.*, (1975); Ashraf *et al.*, (2017)]. Del mismo modo, el manganeso se encuentra en forma divalente Mn (II) es esencial en procesos redox en la eliminación de radicales libres de oxígeno y activación de enzimas, compromete la eficiencia fotosintética a partir de la activación de la cadena de transporte de electrones, evidenciando la importancia de este elemento en la fisiología de las plantas de palma de aceite. Su deficiencia afecta la reacción a la luz, sin Mn hay deficiencias en la fosforilación y reducción de CO₂, nitrito y sulfito, primero su ausencia aparece en las hojas jóvenes y con puntos amarillentos en las dicotiledóneas y como manchas grises verdosas en las monocotiledóneas [(Broschat, 2009; Owen, 1993; Orjuela *et al.*, (2019)].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Entre agosto y diciembre de 2023 y enero y marzo de 2024, se realizó una revisión bibliográfica referente a las temáticas descritas por las palabras: elaeis, stress, salinity, nitrogen, manganese, auxin, photosynthesis, photorrespiration, metabolism. Las búsquedas fueron realizadas de manera independiente integrando el género de la especie evaluada (*Elaeis*) a la característica solicitada: elaeis AND stress AND salinity; elaeis AND nitrogen; elaeis AND

Según Romero *et al.*, (2007), citando a Breure (1988), se afirma que el proceso fotosintético incide en el rendimiento agronómico de los cultivos, toda vez que los productos derivados o foto - asimilados, son los precursores de los órganos vegetativos, por ejemplo, el llenado de frutos. Estos foto-asimilados se reparten en la planta de tres formas: el 50% se utiliza para mantenimiento, el 25% para producir la energía necesaria que forma nuevos tejidos y el 25% en el aumento de la biomasa de las hojas. Chaves, *et al.*, (2016), aportan un matiz adicional al resaltar que, aunque su enfoque no es específicamente el cultivo de palma, sino las respuestas fisiológicas generales de las plantas, la fotosíntesis es un proceso crucial. Esta no solo provee energía y nutrientes esenciales para el desarrollo de la palma, sino que también desempeña un papel vital en la resistencia al estrés. Por este motivo, el objetivo de este estudio es investigar los mecanismos fisiológicos y metabólicos de la palma de aceite bajo condiciones de estrés abiótico y nutricional, y describir estrategias de manejo que optimicen su crecimiento y productividad.

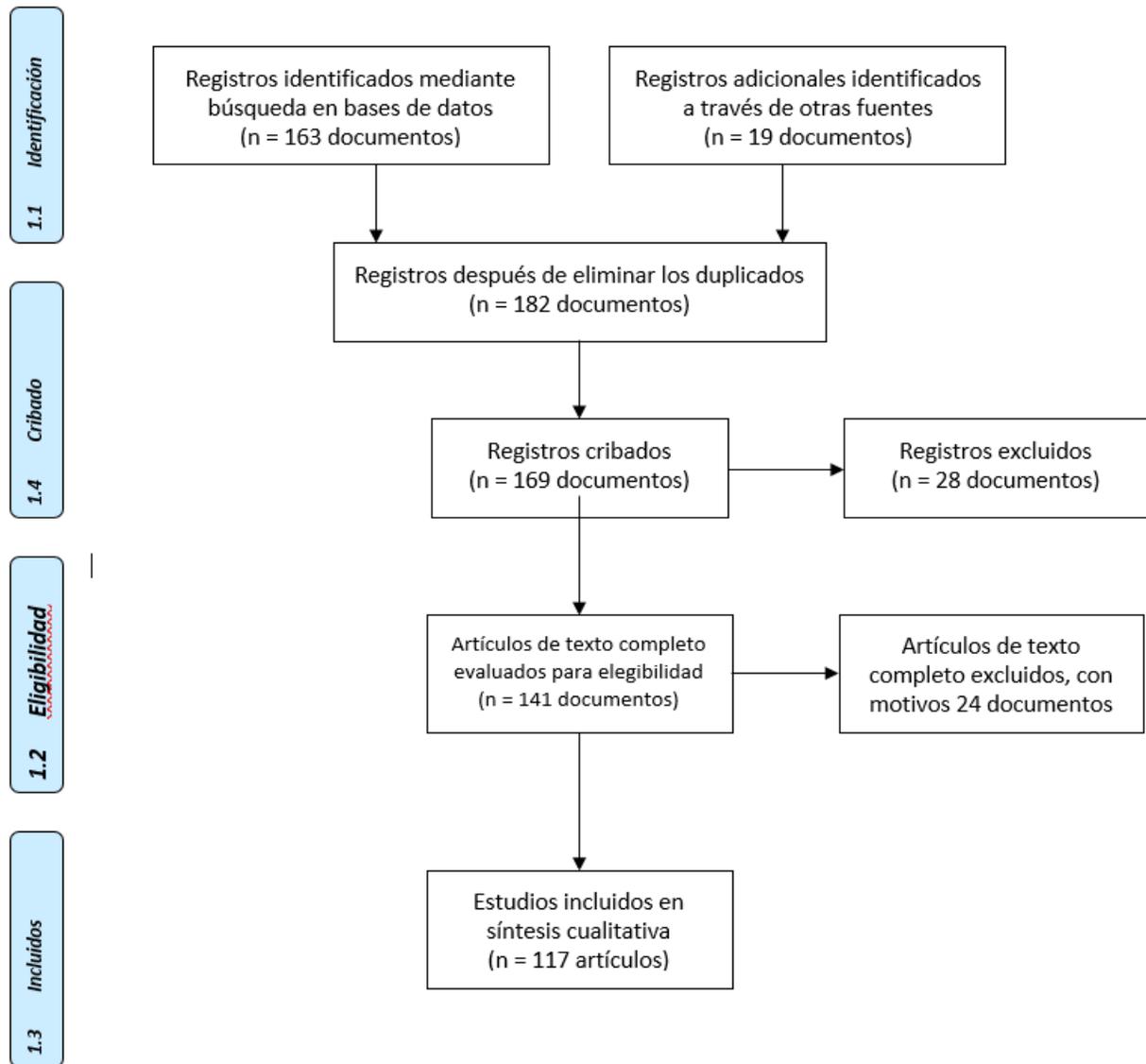
manganese; elaeis AND auxin; elaeis AND photosynthesis; elaeis AND photorrespiration; elaeis AND metabolism. Una vez realizada cada una de las búsquedas se procedió a construir un banco de documentos científicos a partir de estructuraron cinco niveles exclusión, que responden al mismo número de criterios de exclusión. Los criterios de exclusión fueron tomados como requisito consecutivo para constituir el banco documental así: 1. Estudios realizados en especies no

vegetales; 2. Fuentes de publicación de bajo rigor científico; 3. Título y resumen que no contienen evaluaciones en fisiología vegetal; 4. Título y resumen no relacionados a la especie o género

seleccionados; 5. Factor diferente a las 5 características de estudio: salinity stress, nitrogen, manganeso, auxin, photosynthesis.

Figura 1

Proceso de Selección y Exclusión en la Revisión Bibliográfica de Estudios sobre Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en relación con Estrés Abiótico y Nutricional



Nota: Modificado de Moher *et al.*, (2009). Flujo de información a través de las diferentes fases de una revisión sistemática. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097.g001>

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta revisión se exploran los efectos fisiológicos del estrés salino, la aplicación de nitrógeno (N) y manganeso (Mn), la función de las auxinas y las características de la fotorrespiración en *Elaeis guineensis* (palma aceitera). Se abordan los mecanismos que la planta emplea para adaptarse a estos factores, destacando la importancia de los nutrientes y las hormonas en la regulación del crecimiento y la respuesta al estrés. Asimismo, se analizan las implicaciones de la fotorrespiración en la eficiencia fotosintética y la resistencia a condiciones ambientales adversas, preparando el contexto para una discusión detallada sobre los resultados obtenidos en diversos estudios experimentales.

Impacto del estrés salino

La salinidad del suelo en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) tiene efectos múltiples en diferentes procesos. Este estrés produce un estrés osmótico que detiene la absorción de agua por las raíces provocando estrés hídrico en la planta (Morales *et al.*, 2004). Los altos contenidos de solutos presentes en la solución del suelo generan serias afectaciones en las plantas como la disminución del potencial osmótico y a su vez del potencial hídrico (Lamz & González 2013). Abidin *et al.* (2016) y Zhou *et al.* (2020), también afirman que el estrés salino causa una afectación en las plantas mediante dos mecanismos, el estrés osmótico o la toxicidad iónica. Según Song *et al.*, (2022) el estrés salino en *E. guineensis* produce afectaciones en el crecimiento, puede llegar a provocar una disminución en el rendimiento y desarrollo de esta planta, además puede alterar directamente los compuestos biológicos, físicos y químicamente en las células vegetales, lo que conlleva a la estimulación de la respuesta celular, por esta razón se puede decir que el estrés salino conduce al estrés

iónico, estrés secundario, estrés osmótico y estrés oxidativo.

Según Lamz y González (2013), los factores de estrés por salinidad determinan la subsistencia, productividad y ocasionan una disminución del potencial osmótico, este último factor afecta el balance hídrico de la planta. Según Vieira *et al.*, (2020), al someter las plantas en suelos con diferentes concentraciones de NaCl (estrés salino) se genera un desequilibrio en los componentes iónicos y osmóticos, causando de esta manera la aceleración en el aumento de la CE y una gran disminución en el potencial hídrico, por ende, las plantas de palma de aceite mostraron una respuesta negativa al estrés salino en suelo. Estos autores enfatizaron que al inducir el estrés salino en las plantas jóvenes de palma de aceite se tiene como consecuencia la baja absorción de agua, reduciendo las tasas de transpiración, la pérdida de las hojas y limitación en el desarrollo de las plantas y con ella las respuestas morfofisiológicas de las plantas jóvenes de palma de aceite en estrés salino. Consiguiente a esto también se logra identificar que la sal incide en la producción estomática en *E. guineensis*.

Por su parte, Winner & Hoong (2012) profundizaron en los efectos del estrés osmótico, subrayando que la acumulación de sal en las raíces desencadena un desequilibrio en los iones celulares, bloqueando la absorción de nutrientes esenciales. Esto no solo causa deficiencia de nutrientes, sino que también conduce a la acumulación de sodio y cloruro en la planta, generando especies reactivas de oxígeno, cambios hormonales y alteraciones metabólicas. De acuerdo con Bittencourt *et al.*, (2022) las altas concentraciones de sales en el suelo producen discrepancias en las actividades enzimáticas que distorsionan procesos metabólicos celulares impidiendo el correcto desarrollo de la planta y su

crecimiento. Adicionalmente al presentarse altas concentraciones de sal en el suelo, se tiene como consecuencia la limitación en la absorción de agua para la planta por medio de la raíz, causando el exceso de iones de sodio y cloruro en citoplasma de la planta. El estrés por salinidad también se genera por la toxicidad de iones captados y acumulados por las plantas como el sodio (Na^+), el cloruro (Cl^-) y el sulfato (SO_4^{2-}) (Lamz & González, 2013).

Cuando las sales como el sodio (Na^+) ingresan a la planta por el agua de riego, por ejemplo, generalmente es trasladado a las hojas de la planta por el movimiento del torrente de transpiración en el xilema (Tester, & Davenport, 2003). Estas sales se concentran en las hojas viejas, y al ser continuo este transporte mientras, las hojas transpiran constantemente se produce una alta concentración de Na^+ y Cl^- lo cual interrumpe la capacidad de las células de desechar sales en la vacuola. Además, Lamz & González (2013) resaltan que la salinidad en el suelo desencadena un desbalance nutricional en las plantas debido a la presencia elevada de sodio (Na) y cloro (Cl) que limita la asimilación de nutrientes como K^+ , Ca^{2+} , y Mn^{2+} . Este desequilibrio conlleva a una disminución en la absorción de nutrientes esenciales como potasio (K^+), nitratos (NO_3^-), y fosfatos (PO_4^{3-}). Las células de las raíces se ven gravemente afectadas por las altas concentraciones de Na^+ y Cl^- que impiden la asimilación de K al haber competencia por medio de cotransportadores $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ que también interrumpen transportadores específicos de K (Zhu, 2003). El K participa positivamente en los procesos de osmorregulación y la síntesis de proteínas; permite la turgencia de las células y es un generador de la fotosíntesis. La falta de K en las células produce clorosis que consecuentemente puede terminar en necrosis (Freitas *et al.*, 2001 Citado por Lamz & González, 2013).

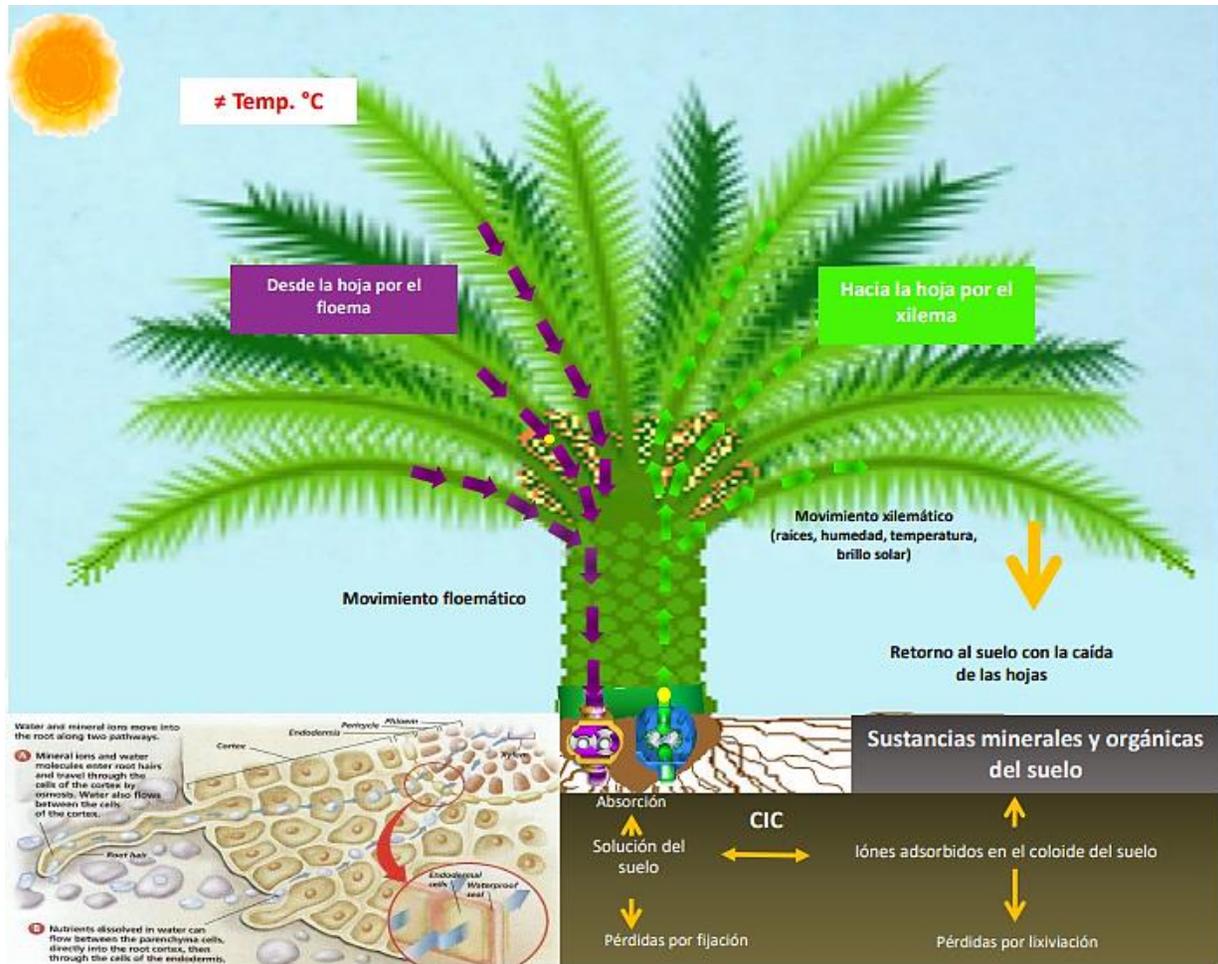
Abidin *et al.*, (2016), agregan que una alta concentración de sales en el suelo provoca una asimilación inadecuada de nutrientes, contribuyendo al desequilibrio en la turgencia celular y reducción en la expansión celular, así como la síntesis de pared celular y proteínas. De igual forma, Aleman *et al.*, (2021) destacan que la salinidad interfiere específicamente con la absorción de elementos nutricionales cruciales como el nitrógeno (N), potasio (K^+), y magnesio (Mg^{2+}). La deficiencia de estos elementos puede resultar en una disminución drástica de la biomasa, afectando la masa seca de tallo, hoja, raíz, raquis y área foliar. Bajo condiciones de salinidad en las plantas de palma de aceite, el suelo restringe la absorción de nutrientes, especialmente fósforo (P). El uso de micorrizas y el hongo *Talaromyces pinophilus* como microorganismos busca mejorar la absorción de P y estimular el crecimiento de las plántulas en suelos salinos (Sembiring *et al.*, 2018).

Además, se ha evidenciado que el estrés osmótico por salinidad produce un encogimiento en las células en los primeros instantes; después de unas horas, las células regresan a su forma normal, pero la tasa de elongación se ralentiza. Al pasar los días, las células pierden capacidad de división y expansión y están tan afectadas, que su tamaño final no es el adecuado. Con el paso de las semanas se genera abscisión de las hojas más viejas por la acumulación de sales (Munns, 2002). Desde una perspectiva más amplia, Vieira *et al.*, (2020), aportan información adicional sobre los efectos fisiológicos de la salinidad, destacando la senescencia de hojas más viejas, la reducción en la fluorescencia de la clorofila y cambios en el potencial osmótico intracelular. Mata (2014), aporta una visión más amplia al destacar que la salinidad impacta no solo la fisiología sino también el metabolismo de la planta. Desencadena desequilibrios iónicos y estrés osmótico, lo que, a su vez, disminuye la capacidad de retención de

agua de las plantas. Este impacto se extiende a nivel enzimático, afectando procesos clave como la glicólisis, el ciclo de

Krebs y la fotosforilación, lo que tiene consecuencias directas en la disponibilidad de energía y nutrientes (Ver figura 1).

Figura 2
Esquema del estrés salino en plantas que repercute al estrés oxidativo.



Nota: Diferentes componentes del estrés salino en plantas, que culminan en un estrés oxidativo. Se destacan el efecto osmótico y la toxicidad iónica, que, junto con la reducción de la conductancia estomática y la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en los cloroplastos, generan daño celular. Tomado de Cadena (p.36), 2018.

De acuerdo con Bittencourt *et al.* (2022) el estrés salino provoca alteraciones vías metabólicas como la cisteína y la metionina, así como la glucólisis y la gluconeogénesis. En contraparte, Shilev (2020) recalca que las plantas enfrentan la

salinidad del suelo mediante el ajuste osmótico, que reduce el potencial osmótico acumulando solutos compatibles en las células para mantener la absorción del agua, así como también excluyen la sal regulando canales iónicos y

transportadores en las células de la raíz. Además, se adaptan a la salinidad a través de la regulación génica y la síntesis de proteínas específicas. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) pueden mejorar la tolerancia de las plantas a la salinidad y promover su crecimiento. De igual manera, Ríos *et al.*, (2020) destacan que al someter plantas a niveles de salinidad se generan efectos negativos en el índice de contenido de clorofila y las variables de fluorescencia de la clorofila, indicando un efecto osmótico del estrés salino.

Además, de un desequilibrio iónico en el sustrato, las raíces y las hojas de las plantas. Se evidenció que las plantas presentaron una reducción de potencial osmótico a nivel celular, causando la disminución de tasas fotosintéticas, cambios en las variables de fluorescencia de la clorofila (Aleman *et al.*, 1949). Estos efectos iónicos detienen actividades enzimáticas o distorsionan funciones de membrana (Munns, 2005), impiden la fotosíntesis e interrumpen mecanismos de transporte y selectividad. Ferreira *et al.*, (2021), afirman que el análisis de los del RNA-seq nos permite identificar genes los cuales se encuentran directamente expresados en una determinada condición, como el estrés salino. A partir de ello, se implementó un estudio en el cual se utilizaron plantas de palmas regeneradas a partir de los cayos embriogénicos y se sometieron a diferentes dosis de NaCl, en el cual se evidenció que algunas plantas demostraron respuesta a la sal y en otras plantas su resultado fue negativo.

De acuerdo con Ferreira *et al.*, (2022), se realizó el uso de microARN (miARN) y su gen Diana putativo, con el fin de ayudar en el control de estrés producido por la sequía y salinidad en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), teniendo en cuenta que miARN son primordiales en todos los procesos biológicos y metabólicos de las plantas al igual que en la regulación del crecimiento de las plantas y en el

desarrollo de las flores (Rey *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta la evaluación realizada se pudo observar que las plantas jóvenes de *E. guineensis* las cuales fueron sometidas a estrés por sequía y a estrés por salinidad, presentaron comportamientos similares, teniendo en cuenta que mostraron un 76% y 80% en los niveles de expresión. Por otro lado, se pudo evidenciar que en ambos métodos el gen Diana putativo su regulación fue positiva (Ferreira *et al.*, 2022).

El metabolismo de las plantas bajo estrés salino también se refleja en los procesos fotosintéticos al desencadenar reacciones como la producción de ácido abscísico, una hormona vegetal que provoca el cierre estomático por medio de los canales de calcio; estos son estructuras proteicas presentes en la membrana de las células guarda, que permiten el ingreso al citosol del mensajero secundario Ca²⁺ (Reyes *et al.*, 2013). Esta respuesta fisiológica disminuye el intercambio gaseoso, por lo tanto, las reacciones fotosintéticas reducen su acción. Otra reacción del estrés hídrico por salinidad encadenado a lo anterior es la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que ocurre porque hay una disminución del CO₂ que afecta la generación de aceptores de electrones provocando que las moléculas de O₂ se enlacen con electrones provenientes de la cadena de transporte produciendo ROS en los cloroplastos (Mittler, 2002; Miller *et al.*, 2008; Hernandez *et al.*, 1993) lo que impacta negativamente el crecimiento vegetal. Se han conocido algunos estudios que resaltan que la palma aceitera es tolerante a la salinidad hasta cierto nivel de concentración de sales en el suelo (Karimi *et al.*, 2009; Madison, 2018).

Sin embargo, en el 2022 Bittencourt con sus colegas manifestaron que la tolerancia a la salinidad es un rasgo multigénico que involucra diversas vías metabólicas y enzimas claves. La integración multiómica, que combina datos de transcriptómica,

proteómica y metabolómica, revela que la palma aceitera responde negativamente al estrés salino al afectar vías metabólicas esenciales; los efectos de la salinidad se manifiestan a través de cambios fisiológicos y morfológicos en la palma de aceite. Es por esto, por lo que Song *et al.*, (2022), señalan que después de más de 14 días de estrés por salinidad, las puntas de las hojas muestran necrosis, indicando que las células de la hoja están

experimentando una muerte celular programada debido al estrés y la acumulación de sal. Este fenómeno se manifiesta además en un cambio en el color de las hojas, que adquieren una tonalidad amarillenta debido a la falta de retención de nutrientes esenciales como el hierro (Fe). El resumen de los efectos fisiológicos de esta particularidad se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Impacto del Estrés Salino en la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Aspecto	Descripción	Referencias
Efectos Osmóticos	La salinidad detiene la absorción de agua por las raíces, causando estrés hídrico.	Morales et al., 2004; Lamz & González, 2013; Vieira et al., 2020
Potencial Osmótico	Reducción del potencial osmótico y potencial hídrico en las plantas debido a altos contenidos de solutos en el suelo.	Lamz & González, 2013
Crecimiento y Desarrollo	Disminución en el rendimiento y desarrollo de la palma de aceite; alteración de compuestos biológicos, físicos y químicos en células vegetales.	Song et al., 2022; Vieira et al., 2020
Balance Hídrico	Disminución del potencial osmótico afecta el balance hídrico, limitando la absorción de agua y nutrientes.	Vieira et al., 2020; Winner & Hoong, 2012; Bittencourt et al., 2022
Toxicidad Iónica	Acumulación de sodio (Na ⁺), cloruro (Cl ⁻) y sulfato (SO ₄ ²⁻) provoca toxicidad y estrés oxidativo.	Lamz & González, 2013; Tester & Davenport, 2003; Zhu, 2003; Freitas et al., 2001
Nutrición de las Plantas	Desbalance nutricional debido a la presencia elevada de sodio y cloro, lo que limita la asimilación de nutrientes como potasio, calcio y manganeso.	Lamz & González, 2013; Abidin et al., 2016; Aleman et al., 2021; Sembiring et al., 2018
Absorción de Nutrientes	Competencia entre iones Na ⁺ y K ⁺ afecta la absorción de K, crucial para la osmorregulación y síntesis de proteínas.	Zhu, 2003; Lamz & González, 2013
Metabolismo Celular	Afectación en las actividades enzimáticas y procesos metabólicos como la glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación.	Mata, 2014; Bittencourt et al., 2022
Fotosíntesis	Disminución en las tasas fotosintéticas y alteraciones en la fluorescencia de la clorofila, produciendo ROS que afectan el crecimiento vegetal.	Aleman et al., 1949; Hernandez et al., 1993; Munns, 2005; Reyes et al., 2013

Adaptación al Estrés	Ajuste osmótico acumulando solutos compatibles, regulación génica, y síntesis de proteínas específicas. Uso de PGPB para mejorar la tolerancia a la salinidad.	Shilev, 2020; Ferreira et al., 2022; Ríos et al., 2020
Efectos Fisiológicos	Senescencia de hojas, reducción de potencial osmótico intracelular, y cambios en el color de las hojas.	Song et al., 2022; Vieira et al., 2020
Acumulación de Sales	La acumulación de sal en las raíces bloquea la absorción de nutrientes, acumulando sodio y cloruro que genera ROS y alteraciones metabólicas.	Winner & Hoong, 2012; Bittencourt et al., 2022
Respuestas Celulares	Inducción de la respuesta celular, disminución de la turgencia celular y de la expansión celular, síntesis de pared celular y proteínas.	Abidin et al., 2016; Aleman et al., 2021; Shilev, 2020

Fuente: Autores (2024). Esta tabla proporciona un resumen de los múltiples impactos del estrés salino en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), basado en diversas fuentes científicas consultadas.

Impacto de un desbalance de nitrógeno (N)

Cuando se trata de deficiencia de nitrógeno (N), tal como lo menciona Owen (1992), el primer síntoma de la falta de este es una disminución del tamaño de la hoja o los folíolos: se vuelven más estrechos y rígidos, con bordes redondeados y enrollados hacia adentro, dando la apariencia de mayor espacio entre los folíolos, por lo cual se presenta una reducción de su área foliar. Por esta razón las hojas de *E.guineensis* empiezan a presentar una decoloración, estos síntomas de deficiencia de elementos móviles ocurren primero en las hojas más viejas, y a medida que la deficiencia aumenta en gravedad, también se produce un color amarillo en el peciolo y el raquis (Jeyalakshmi & Radha 2017).

De acuerdo con Timothy & Broschat (2017), la palma de aceite es muy susceptible a la deficiencia de nitrógeno (N), debido a que en el suelo existen microorganismos cuya función es descomponer materia orgánica, por ende, estos compiten con las raíces de la palma de aceite por la obtención de N. Según Muñoz *et al.*, (1975), los síntomas de la deficiencia de N generalmente se observan en cambios en el color de las hojas; el color verde oscuro de la lámina foliar cambia

inicialmente a verde amarillento, llegando a amarillo pajizo, cuando la deficiencia es aguda y en algunos casos se produce necrosis en el tejido afectado. Este amarillamiento afecta tanto a las hojas más jóvenes como a las hojas maduras.

Al ser un macronutriente esencial y un componente integral en las estructuras proteínicas, el N hace parte de los procesos fitogenéticos participando en la formación de clorofila, aporta gran cantidad de vitaminas contribuyendo al crecimiento de la planta y este está relacionado en la producción foliar, aportando con ello una mejor recepción de luz dando como resultado un óptimo desarrollo en el proceso fotosintético. La carencia de N en las plantas de palma de aceite resulta en un retraso significativo en el crecimiento, clorosis de las hojas y una disminución en la producción de biomasa, afectando negativamente la fotosíntesis y la producción de energía (Ashraf *et al.*, 2017). Muñoz (1981) afirma que el nitrógeno es fundamental para el crecimiento de la palma de aceite, cuando esta presenta deficiencia de este macroelemento, tiene implicaciones fisiológicas que limitan el desarrollo de la clorofila; es decir, interviene de manera

negativa en las fases fotosintéticas en especial aquella que aprovecha directamente la luz o energía lumínica para tener como resultado energía química en forma de ATP y NADPH.

Sun *et al.*, (2011) abordan la importancia del N en la fotosíntesis, señalando que la carencia de este afecta negativamente la síntesis de proteínas, la producción de clorofila y, en última instancia, la fotosíntesis. Dussán *et al.*, (2016) respaldan esta afirmación al destacar que la deficiencia de N puede provocar una disminución en las tasas de fotosíntesis, acumulación de carbohidratos y alteración en la asignación de fotoasimilados entre fuentes y demandas de nutrientes. Lo anterior indica mal estado nutricional vegetativo estrictamente por falta de N en el proceso de fotosíntesis que se aprecia además por una baja cantidad de cloroplastos en las hojas (Lorén, 2013 citado por Crespo *et al.*, 2020). En cuanto al rendimiento en frutos, disminuye el número y peso de los racimos (Cruz *et al.*, 2020).

Además, con la falta de N habría insuficientes ácidos nucleicos y proteínas

siendo este un componente básico de los mismo, así mismo, al tener que ver con el crecimiento de los tejidos su deficiencia podría causar una necrosis, es decir un colapso celular (Ikhajiagbe *et al.*, 2022). Al evidenciarse una deficiencia de N, la palma tiene la capacidad de extraerlo desde las hojas más viejas en el dosel y suministrarlo a las hojas más jóvenes para así contribuir a su desarrollo (Ver figura 2).

Con respecto a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, se puede decir que su aplicación es mejor aprovechada por la palma aceitera cuando los niveles de humedad del suelo son más bajos, debido a que a un mayor nivel de humedad se reduce hasta un 50% la disponibilidad de NO_3 , siendo malo para el buen desarrollo radicular por falta de O_2 (Ariffin *et al.*, 2019). Otro punto clave es el exceso de concentración de este macronutriente, según Goh *et al.*, (2016) al presentarse un exceso del N puede provocar un aumento de inflorescencia masculina, generando una disminución de inflorescencia femenina, causando un desequilibrio entre ambos sexos. El resumen de los efectos fisiológicos de esta particularidad se presenta en la tabla 2.

Figura 3

Deficiencia generalizada de nitrógeno (N) en el cultivo de palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)



Nota. Tomado de Las Buenas Prácticas de Manejo (BPM) en Palma de Aceite (sf)., BPM (<https://www.asesoria-bpm-palma.com/espa%C3%B1ol/s%C3%ADntomas-de-deficiencia/nitr%C3%B3geno-n/>)

Tabla 2Impacto del Desbalance de Nitrógeno (N) en la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Aspecto	Descripción	Referencias
Síntomas Iniciales	Reducción del tamaño de las hojas o folíolos, hojas más estrechas, rígidas, con bordes redondeados y enrollados hacia adentro. Decoloración en las hojas más viejas y amarillamiento del peciolo.	Owen, 1992; Jeyalakshmi & Radha, 2017
Susceptibilidad	Alta susceptibilidad debido a la competencia con microorganismos en el suelo por el nitrógeno disponible.	Timothy & Broschat, 2017; Muñoz et al., 1975
Decoloración y Necrosis	Cambio del color verde oscuro a verde amarillento y amarillo pajizo, necrosis en tejidos afectados.	Muñoz et al., 1975; Ashraf et al., 2017
Importancia en la Fotosíntesis	El N es crucial para la formación de clorofila y la fotosíntesis. Deficiencia causa retraso en crecimiento, clorosis y disminución en producción de biomasa.	Ashraf et al., 2017; Muñoz, 1981; Sun et al., 2011
Tasas de Fotosíntesis	Disminución en las tasas de fotosíntesis, acumulación de carbohidratos y alteración en la asignación de fotoasimilados.	Dussán et al., 2016; Crespo et al., 2020
Rendimiento en Frutos	Disminución del número y peso de los racimos de frutos.	Cruz et al., 2020
Ácidos Nucleicos y Proteínas	Deficiencia causa insuficiencia de ácidos nucleicos y proteínas, afectando el crecimiento de tejidos y provocando necrosis celular.	Ikhajiagbe et al., 2022
Redistribución de N	La palma extrae N de las hojas más viejas para suministrarlo a las hojas más jóvenes en caso de deficiencia.	Lorén, 2013 citado por Crespo et al., 2020
Aplicación de Fertilizantes	Mejor aprovechamiento de fertilizantes nitrogenados en condiciones de menor humedad del suelo; exceso de N puede causar desequilibrio en inflorescencias masculinas y femeninas.	Ariffin et al., 2019; Goh et al., 2016

Fuente: Autores (2024) Esta tabla resume el impacto de un desbalance de nitrógeno en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). La deficiencia de nitrógeno afecta múltiples aspectos de la planta, desde síntomas visibles en las hojas hasta procesos fisiológicos fundamentales como la fotosíntesis y el crecimiento.

Impacto de la deficiencia de manganeso (Mn)

En los cultivos extensivos como *E. guineensis* la deficiencia de micronutrientes como el Manganeso (Mn) afecta el rendimiento y la calidad del cultivo (Orjuela, 2019). Timothy & Broschat, (2014), enfatizaron que la deficiencia de manganeso (Mn) se genera porque el suelo puede presentar un pH alto, también puede ser causado por un

drenaje deficiente, teniendo en cuenta que en la lixiviación se puede presentar la reducción de Mn, generando lesiones cloróticas en las hojas, necrosis en los folíolos y finalmente como un marchitamiento con excepción en las partes basales del foliolo. Kee *et al.*, (1995), recalcan que la deficiencia de Mn en la palma causa síntomas como clorosis

intervenial pronunciada, necrosis en las vértices y bordes de las hojas, y una copa pequeña, también reportan que para mejorar la deficiencia de Mn se debe realizar aplicaciones de $MnSO_4$ a varias tasas.

Timothy & Broschat (2009) aclaran que la fertilización con micronutrientes permite que se pueda llevar a cabo un buen desarrollo de las plantas de palma, la deficiencia del Mn es muy similar a la deficiencia producida por el hierro (Fe), que es donde surgen nuevas hojas con clorosis intervenial, donde las venas de las hojas se mantienen verdes mientras que el tejido verde se vuelve amarillo. También, cuando se presenta deficiencia de manganeso se observan rayas longitudinales en los folíolos, en algunos casos más avanzados, los extremos distales de los folíolos se vuelven totalmente necróticos y rizados,

proporcionando a la hoja una forma crespa.

Según Yepes, (2019) morfológicamente la deficiencia de manganeso se manifiesta con un amarillamiento en las hojas más jóvenes desde el ápice hacia la base y un acortamiento del limbo; se puede observar un rizado o crispado en la punta de las hojas afectadas como si estuviesen apretada. En el proceso fotosintético son varias las afectaciones, por ejemplo: se alteran las reacciones químicas inducidas por luz como la reducción de CO_2 debido a la ausencia de cloroplastos; la participación de este micronutriente en la cadena de transporte de electrones se traduce en la eliminación de ROS y su ausencia genera acumulación de estos radicales, que pueden deteriorar las membranas internas de la célula. Los procesos de hidrolíticos se afectan toda vez que las enzimas encargadas de procesar la molécula de agua ralentizan su función (Ver figura 3).

Figura 3

Deficiencia generalizada de Manganeso (Mn) en el cultivo de palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)



Nota. Obsérvese el amarillamiento y la necrosis de las puntas de los filiolos y de hoja hacia la base, el corrugamiento del limbo y la reducción en tamaño de los folíolos. Tomado de Owen, (p.19),1993.

De acuerdo con Viégas *et al.*, (2023) este micronutriente está estrechamente relacionado con el funcionamiento, estructura y multiplicación de los cloroplastos, del mismo modo aporta en el transporte de electrones y es parte primordial en la formación del ácido shikímico. Estos autores revelan que la deficiencia de Mn puede causar clorosis (coloración amarillenta) de las hojas, necrosis (muerte) del tejido foliar y reducción del crecimiento y el rendimiento. En las plantas de palma aceitera, la deficiencia de Mn también puede provocar una condición conocida como "frizzle top", que se caracteriza por la deformación y necrosis de las hojas jóvenes.

Según Orjuela (2019), quien cita a Goh & Härdter (2012), da a conocer que la deficiencia de Mn en *E. guineensis* conlleva a la disminución del proceso fotosintético. Además, la insuficiencia de Mn inhibe el crecimiento de las raíces y causa una lignificación apenas perceptible de los tejidos. Asimismo, da a conocer que, para

el caso de las hojas nuevas, esta deficiencia provoca que sean más pequeñas y presenten clorosis, un fenómeno en el que las hojas muestran un color amarillo pálido debido a la falta de clorofila. La deficiencia de Mn en las hojas palma de aceite, compromete la eficiencia fotosintética, afectando la formación de clorofila, disminuyendo a su vez la eficiencia en los demás procesos y reacciones del metabolismo de la planta (Owen, 1993).

Adicionalmente, para el cultivo de palma de aceite el clima es un factor el cual contribuye en la deficiencia del micronutriente Mn, especialmente en tiempos de sequía; además, factores como alta temperatura y humedad aceleran la actividad microbiana del suelo que oxida el Mn (II) a Mn (III) y estas condiciones pueden inhibir el crecimiento de las hojas de la planta y su posterior muerte (Owen, 1993). El resumen de los efectos fisiológicos de esta particularidad se presenta en la tabla 3.

Tabla 3

Impacto de la Deficiencia de Manganeso (Mn) en la Palma de Aceite (Elaeis guineensis Jacq.)

Aspecto	Descripción	Referencias
Síntomas Iniciales	Clorosis intervenal pronunciada, necrosis en las vértices y bordes de las hojas, y copa pequeña.	Kee et al., 1995; Timothy & Broschat, 2009; Orjuela, 2019
Condiciones del Suelo	Suelos con pH alto, drenaje deficiente, y lixiviación que reduce el Mn disponible.	Timothy & Broschat, 2014
Similitudes con Deficiencia de Fe	Clorosis intervenal en nuevas hojas, donde las venas permanecen verdes mientras el tejido entre las venas se vuelve amarillo.	Timothy & Broschat, 2009
Efectos en el Proceso Fotosintético	Alteración en las reacciones químicas inducidas por luz, reducción de CO ₂ , acumulación de ROS, y daño a las membranas internas de la célula.	Yepes, 2019; Viégas et al., 2023
Efecto en Cloroplastos	Mn está relacionado con la estructura y multiplicación de los cloroplastos, transporte de electrones, y formación del ácido shikímico. Su deficiencia	Viégas et al., 2023

	causa clorosis y necrosis del tejido foliar.	
Condición de "Frizzle Top"	Deformación y necrosis de las hojas jóvenes, conocida como "frizzle top".	Viégas et al., 2023
Impacto en Crecimiento y Raíces	Inhibición del crecimiento de las raíces y lignificación apenas perceptible de los tejidos.	Orjuela, 2019; Goh & Härdter, 2012
Influencia del Clima	Factores como alta temperatura y humedad aceleran la actividad microbiana que oxida el Mn (II) a Mn (III), afectando el crecimiento de las hojas y causando su muerte.	Owen, 1993
Aplicación de Fertilizantes	Uso de MnSO ₄ para corregir la deficiencia, aplicado a varias tasas para mejorar los síntomas.	Kee et al., 1995

Fuente: Autores (2024). Esta tabla resume la deficiencia en diversos aspectos de la planta, desde síntomas visibles en las hojas hasta procesos fisiológicos críticos como la fotosíntesis y el crecimiento.

Regulación del crecimiento y desarrollo causado por auxinas

Aucique *et al.*, (2012) subrayan el papel crucial de las auxinas en *E. guineensis* regulando la elongación y segmentación celular, así como la diferenciación de tejidos. Estas hormonas son esenciales para diversos procesos fisiológicos, incluyendo el florecimiento, la fructificación, la partición de asimilados, la germinación y la clonación. Asimismo, Jin *et al.*, (2022) sostienen que, en las palmas de aceite, las auxinas ayudan al desarrollo de los tejidos vegetales, incluyendo meristemos y raíces. Además, las auxinas regulan el crecimiento de los frutos y la respuesta a ambientes de estrés abiótico, como la sequía y la salinidad. Se explica que al manipular la señalización de auxinas estas podrían mejorar el rendimiento del cultivo.

Esta fitohormona también puede transportarse por difusión a través del floema influyendo en el crecimiento de la planta, en el desarrollo de raíces de forma horizontal y ramificaciones del tallo (Carroro *et al.*, (2012) citado por Villareal *et al.*, (2022)). Igualmente se pueden transportar hacia el interior y exterior de la célula por transportadores de membrana y/o por difusión. Hace parte de las fases de

desarrollo como la consolidación del eje embrionario, los sentidos de tropismo, desarrollo de tejido vascular, dominancia apical, formación de raíces, flores y frutos (Garay-Arroyo *et al.*, (2014) citado por Villarreal y colaboradores (2022)).

De acuerdo con Carvalho *et al.*, (2014), las auxinas a su vez participan en la adquisición de la competencia embriogénica, sin embargo, las altas concentraciones de auxinas causan estrés oxidativo debido al aumento de ROS un proceso previamente reportado durante la embriogénesis somática. Según Jin *et al.*, (2022) las auxinas permiten que se pueda llevar a cabo el control de los procesos de crecimiento y desarrollo de *E. guineensis* mediante la regulación de su señalización, factor que, combinado con la identificación y evaluación de la funcionalidad de los ARF (Auxin Response Factors) en el cultivo, haya generado evaluaciones genómicas extendidas de duplicación segmentaria para analizar sus características.

Teniendo en cuenta la evaluación realizada por Ballen (2019), las auxinas permiten que se pueda realizar la regulación de la determinación del sexo en los racimos de

E. guineensis, además de participar en una gran variedad de procesos dentro de la planta, que se relacionan con actividades fisiológicas y son vinculadas con la elongación de tallos y coleóptilos, formación de nuevas raíces adventicias, estimulando la floración. Por otro lado, al realizar la aplicación de las fitohormonas (Auxinas) produce una afectación en el

proceso de floración de este cultivo y que el crecimiento de los frutos no pueda ser normal. Además, según Sparjanbabul *et al.*, (2021), las auxinas interactúan con otras fitohormonas a fin de limitar el crecimiento de las raíces pivotantes, el geotropismo entre otros, igualmente estas también influyen en la formación de la pared celular (Villareal *et al.*, 2022).

Figura 4

Estados fenológicos de la floración del híbrido interespecífico Oleífera x Guinnensis y la ventaja de polinización para polen y ANA.



Nota. La ventana de polinización artificial (ANA) es mucho más amplia que la ventana de polinización asistida (Polen), haciendo mucho más práctica su aplicación a pesar de generar frutos partenocárpico. Tomado de Daza *et al.*, (p.3), 2021.

En el cultivo de palma de aceite, el uso una auxina como el ácido naftalenacético (ANA) busca inducir la partenocarpia, generando frutos sin semillas y mejorando la palatabilidad. La partenocarpia aumenta la producción de aceite al eliminar el núcleo y aumentar el mesocarpio (Montoya *et al.*, 2023). En híbridos de palma de aceite, el ANA incrementa el contenido de aceite dentro del fruto porque induce la formación de frutos partenocárpico (Ruiz-Romero (2020); Daza *et al.*, (2021) citados por Villareal *et al.*, (2022)), lo que

permite mayores rendimientos en polinización artificial (Jacome, (2015); Martínez, (2019), citados por Villareal *et al.*, (2022)). El ANA también produce una recuperación de inflorescencias no polinizadas que se encuentran en un estado fenológico postantesis permitiendo mayor formación de frutos (Ochoa & Palacio, (2021) citado por Villareal *et al.*, (2022)). Conforme con Romero *et al.*, (2020) mediante la aplicación de ANA se puede lograr el aumento del peso de los racimos y de los frutos, por otro lado, se

evidencio el incremento en la producción de aceite (Ver figura 4). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede concluir que la aplicación de ANA aporta significativamente en el desarrollo del

cultivo de palma de aceite, aumentando la producción, logrando así que el cultivo pueda ser económicamente sostenible. El resumen de los efectos fisiológicos de esta particularidad se presenta en la tabla 4.

Tabla 4

Regulación del Crecimiento y Desarrollo Causado por Auxinas en la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Aspecto	Descripción	Referencias
Regulación Celular	Las auxinas regulan la elongación y segmentación celular, y la diferenciación de tejidos, esenciales para procesos fisiológicos como el florecimiento, la fructificación, la partición de asimilados, la germinación y la clonación.	Aucique et al., 2012; Jin et al., 2022
Desarrollo de Tejidos Vegetales	Auxinas ayudan al desarrollo de meristemos y raíces, regulan el crecimiento de frutos y la respuesta a estrés abiótico (sequía y salinidad).	Jin et al., 2022
Transporte y Influencia	Se transportan por difusión a través del floema y transportadores de membrana, influyendo en el crecimiento, desarrollo de raíces horizontales y ramificaciones del tallo.	Carroro et al., 2012; Garay-Arroyo et al., 2014; Villarreal et al., 2022
Competencia Embriogénica y Estrés Oxidativo	Participan en la adquisición de la competencia embriogénica, pero altas concentraciones pueden causar estrés oxidativo debido al aumento de ROS.	Carvalho et al., 2014
Determinación del Sexo y Procesos Fisiológicos	Regulan la determinación del sexo en los racimos, elongación de tallos y coleóptilos, formación de nuevas raíces adventicias, y estimulan la floración.	Ballen, 2019; Sparjanbabul et al., 2021; Villarreal et al., 2022
Inducción de Partenocarpia con ANA	El ácido naftalenacético (ANA) induce partenocarpia, generando frutos sin semillas, aumentando la producción de aceite al eliminar el núcleo y aumentar el mesocarpio.	Montoya et al., 2023; Ruiz-Romero, 2020; Daza et al., 2021; Jacome, 2015; Martínez, 2019
Aumento de Rendimiento en Polinización Artificial	ANA incrementa el contenido de aceite en frutos partenocárpico y permite mayores rendimientos en polinización artificial, recuperando inflorescencias no polinizadas y aumentando la formación de frutos.	Ochoa & Palacio, 2021; Villarreal et al., 2022; Romero et al., 2020; 2021

Fuente: Autores (2024). Esta tabla resume el papel de las auxinas como fitohormonas esenciales que influyen en diversos procesos fisiológicos, desde la elongación celular hasta la respuesta a estrés abiótico. Su transporte y señalización afectan tanto el desarrollo de tejidos vegetales como la producción de frutos. La aplicación de ácido naftalenacético (ANA) es particularmente significativa y, a pesar de inducir partenocarpia, se cuentan con estudios que describen una mejora en la producción de aceite y la palatabilidad del fruto, lo que contribuye a la sostenibilidad económica del cultivo.

Características fisiológicas de la fotosíntesis

Rivera & Romero (2017), profundizan en el papel de la fotosíntesis al explicar que las palmas utilizan este proceso para

transformar la energía solar en energía química, impulsando así la fijación de CO₂ y la formación de materia orgánica en los

tejidos vegetales. Parámetros específicos, como la eficiencia fotosintética y la tasa de fotosíntesis máxima, se consideran esenciales para evaluar la fotosíntesis en las plantas. Apichatmeta *et al.*, (2017) subrayan que la fotosíntesis es un proceso fundamental para la palma de aceite, siendo que proporciona la energía y los nutrientes necesarios para la división y expansión celular, así como la síntesis de proteínas.

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq), utilizando el proceso fotosintético C3, ha sido evaluada con tecnologías de fluorescencia, como la Modulación De Amplitud De Pulso (PAM), para medir su fotosíntesis, mostrando tasas significativas, con variaciones a lo largo del día, sugiriendo una adaptación a la variabilidad de la luz solar (Apichatmeta *et al.*, 2017). Acorde con Boujenna *et al.*, 2022 en las plantas con metabolismo C3, como *E. guineensis*, la fijación del CO₂ se realiza en el ciclo de Calvin – Benson al interior del estroma. La característica principal del grupo de plantas C3, es que dicha fijación de CO₂ es en forma de ácido 3-fosfogliceraldehido, que es un compuesto de tres átomos de carbonos.

Además, como lo sustentan Silva *et al.*, (2016, 2017); Oliveira *et al.*, (2019, 2002); Jazayeri y Rivera (2015); Suresh *et al.*, (2012); Tucci *et al.*, (2010); Gomes *et al.*, (2008), el tamaño, la especie, la edad, como se esté desarrollando su crecimiento, cantidad de estrés hídrico y rigor, puede afectar la cantidad de gases que entra en la planta y la fluorescencia de clorofila en las palmas. Estos cambios, según Suresh *et al.*, (2010), muestran cuan sensible son estas palmas aceiteras a los deterioros fotooxidativos cuando estresadas por falta de agua, aparentemente como resultado de un desbalance en los métodos bio y fotoquímicos del proceso fotosintético; afectando notoriamente el período reproductivo, manifestándose en la disminución de frutos, siendo evidente en

el número de racimos frescos como en su masa (Viana *et al.*, 2019).

De acuerdo con Apichatmeta *et al.* (2017), las plantas de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en estado joven y adulto, fueron sometidas a diferentes intensidades de luz azul y se pudo evidenciar que las plantas jóvenes tienen una tasa fotosintética un poco más baja que las plantas adultas, esto es causado porque esta especie es C3, por ende, su proceso de fotosíntesis es más bajo de las especies de C4. Por esta razón, en su proceso fisiológico el cultivo de palma de aceite se presenta un proceso de fotorrespiración en una tasa un poco más alta que la fotosíntesis, esta fotorrespiración se evidencia debido a que las especies que están sometidas a intensidades de luz azul, su temperatura aumenta lo cual genera el cierre de las estomas para que así la planta pueda optimizar el uso de agua y pueda seguir con su proceso de fotosíntesis.

Mencionan Romero *et al.*, (2023) que lo anterior se refleja en la definición de la densidad de siembra para establecer grandes cultivos, debido a que la capacidad de captar luz solar podría disminuir en las hojas del dosel, y se perdería su capacidad para captar el dióxido de carbono. Además, Cayón *et al.*, (2007) identifican que la tasa fotosintética en alta radiación en plantaciones de palma de aceite se reduce debido al aumento de la temperatura foliar que también se ve reflejada a nivel interno en el mesófilo, dificultando el intercambio gaseoso de las hojas. Por lo cual, en una mañana soleada se presenta una alta actividad fotosintética con gran demanda de CO₂ al interior de la hoja y esto favorece el intercambio de fotoasimilados que son indispensables para el desarrollo de la planta. Por otra parte, Ayala y Gómez (2000), encontraron que dos progenies con altos valores de área foliar total presentan contrastes en rendimiento, concluyendo que no siempre los valores de lámina foliar podría repercutir positivamente en la

productividad y en cambio, la progenie de mayor rendimiento presenta la menor área específica.

Asimismo, Ibrahim *et al.*, (2010) respaldan la importancia de la fotosíntesis en la palma, enfatizando que este proceso permite que la planta convierta la energía solar en energía química, necesaria para la producción de carbohidratos y otros compuestos orgánicos esenciales. Además, la regulación del equilibrio hídrico de la planta también está vinculada a la fotosíntesis, siendo que la apertura y cierre de las estomas están controlados por la tasa de fotosíntesis y la concentración de CO₂ en la atmósfera. De acuerdo con Lopes *et al.*, (2021) las plantas de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) que fueron sometidas a déficit hídrico y condiciones de Suspensión De Riego (WD), en su primer momento mostraron variaciones en sus procesos fisiológicos, esto debido a que la acumulación de agua en suelo disminuyó y aumento la temperatura lo cual generó el cierre de las estomas, por ende, las plantas de palma de aceite realizaron una fotosíntesis limitada. Por otro lado, que se ve afectado el proceso de transporte de electrones y la disminución de la carboxilasa Rubisco lo cual, causa el aumento de las tasas de la fotorrespiración en las plantas de palma de aceite (Perdomo *et al.*, 2017). Adicionalmente se pudo evidenciar que las plantas de palma de aceite al ser sometidas a condiciones WD y al realizarles eventos repetitivos de estas condiciones, mostraron una mejor respuesta ante este déficit hídrico. Esto debido a que las plantas tienen la capacidad de memorizar las condiciones que fueron sometidas por primera vez y crean una respuesta fisiológica permitiéndoles crear una adaptabilidad a este estrés y de esta manera poder disminuir el proceso de fotorrespiración (Lothier *et al.*, 2020).

Bayona-Rodríguez *et al.*, (2016) explican que en las temporadas secas la palma aceitera reacciona cerrando las estomas y

por tanto reduce las tasas de transpiración. Cuando se realiza el riego bajo estas condiciones, se controla la fijación de dióxido de carbono. Mientras que cuando no se hace riego, las tasas de fotosíntesis disminuyen y el potencial hídrico de las hojas también se reduce. Pérez y Cayón (2010), ofrecen una visión más específica al sugerir que las variaciones en el metabolismo de carbohidratos, como la concentración de azúcares reductores, pueden contribuir al desarrollo de la marchitez letal en las palmas de aceite. Estas alteraciones pueden afectar la respiración, lo que, a su vez, puede conducir a una depreciación de la fotosíntesis y la producción de biomasa. Asimismo, Moreno *et al.*, (2014) resaltan que la palma debe regular la apertura de las estomas de tal modo que maximice la entrada de CO₂ y a la vez que minimice la pérdida de agua, en este último balance radica la integridad de los mecanismos adaptativos, estos dos procesos tienen otra implicación muy importante pues la transpiración de vapor de agua resulta clave el control de la temperatura foliar que también es trascendente en la eficiencia de la fotosíntesis.

Melgarejo *et al.*, (2010) informan que la respiración en todas las plantas se da en las mitocondrias y en varias etapas, incluyendo la glucólisis, el ciclo de Krebs y la fosforilación oxidativa. La respiración es la encargada de producir energía en Adenosin Trisfosfato (ATP) y poder reductor, además de liberar CO₂ a la atmósfera. Las plantas también tienen una vía alternativa de respiración llamada Oxidasa Alterna (AOX) que puede estar involucrada en la regulación de la temperatura y la respuesta al estrés. A su vez, Henson (2004), complementa esta perspectiva al afirmar que la respiración en la palma de aceite contribuye a obtener la energía necesaria, liberando CO₂ y agua. La tasa de respiración se convierte así en una medida de la tasa metabólica de la palma, variando según el tipo de tejido y vinculándose estrechamente con la

cantidad de biomasa producida por la planta. En este mismo sentido, se debe comprender que la respiración de *E. guineensis* es energéticamente costosa y metabólicamente menos eficiente, especialmente en los frutos, contribuyendo a la pérdida de CO₂ (Lamade *et al.*, 2016). Con respecto a la respiración y según Rivera-Mendes *et al.*, (2016), la palma aceitera sufre una modificación radicular cuando está expuesta a condiciones de anegamiento, con el fin de garantizar la oxigenación de la raíz, pero puede perjudicar el crecimiento debido a tasas de respiración más altas y limitaciones en la absorción y transporte de nutrientes.

Conforme a Paul *et al.*, (2015); Hao *et al.*, (2015) y Shulaev *et al.*, (2008), cuando la planta empieza a tener poca agua las raíces impulsan señales que terminan manifestándose en estrés, cerrando las estomas y reduciendo la transpiración. Este estrés afecta de manera negativa el balance de O₂/CO₂ perturbando el ciclo de Calvin. La fotorrespiración puede ocurrir en presencia de altas concentraciones de O₂, pero se minimiza mediante el enriquecimiento de CO₂, beneficiando el crecimiento de la palma de aceite (Ibrahim *et al.*, 2010). En el caso de *E. guineensis*, Barrios *et al.*, (2011) citando a Corley y Tinker (2003), han demostrado que bajo altas temperaturas los rendimientos se comprometen a largo plazo porque el llenado del fruto es deficiente o se presentan abortos del racimo. Además, cuando se presenta cierre estomático, ralentización de la fotosíntesis y consecuentemente la fotorrespiración, se producen moléculas tóxicas, por ejemplo, el compuesto 3 - fosfoglicerato y 2 - fosfoglicolato, siendo esta última la precursora del CO₂ que se liberará tras una serie de reacciones químicas que desgastan energéticamente a la palma (Santamaría *et al.*, 2023).

Filho *et al.* (2021) arrojan luz sobre la fotorrespiración en plantas C3, incluyendo la palma de aceite. Destacan que este

proceso esencial se activa en condiciones de altas temperaturas, cuando la rubisco fija O₂ en lugar de CO₂. Aunque la fotorrespiración protege a la planta de la fotooxidación, conlleva un costo energético y reduce la eficiencia de la fotosíntesis, limitando el crecimiento de la planta en condiciones subóptimas (Mosquera, *et al.*, 1999). La fotorrespiración en *E. guineensis* aumenta con la edad de las hojas, lo que indica que las hojas más maduras son más propensas al estrés hídrico y oxidativo. Además, la fotorrespiración produce oxígeno, lo que puede inducir estrés oxidativo en la planta, dañando sus células y tejidos (Henson, 1991).

Menciona Villalobos (2001) que en el proceso de fotorrespiración se observa la presencia de la enzima Rubisco que en condiciones óptimas se comporta como una carboxilasa, es decir que puede añadir moléculas de dióxido de carbono a otra enzima, pero también puede fijar oxígeno y se denominada oxigenasa. Este proceso ocurre en presencia de luz, fijando oxígeno en lugar de dióxido de carbono, es decir que se invierte la fase lumínica de la fotosíntesis. Según Mosquera *et al.*, (1999), este fenómeno provoca la pérdida de carbono y energía a tal punto que los productos fotosintéticos pueden disminuir hasta un 50%. Benavides (2003), indica que este tipo de estrés depende de la temperatura siendo crítico a 35°C cuando se presenta cierre estomático.

Sin embargo, el uso de enriquecimiento con CO₂ puede suplantar el tiempo de permanencia de la palma en los viveros. Es decir, dar un aumento significativo en el nivel de CO₂ consigue mejorar la fotosíntesis, además de esto reduce la tasa de fotorrespiración y produce foto asimilados adicionales, que se reparten en los órganos de la planta para estimular el crecimiento, el manejo del enriquecimiento con CO₂ en plántulas de palma aceitera se logró evidenciar que es capaz de reducir la fase de vivero mediante la mejora del crecimiento, a lo que arroja que

únicamente se puede usar el enriquecimiento con CO₂ y que efectivamente puede llegar a dar buenos resultados. En condiciones elevadas de CO₂, el proceso de carboxilación también aumenta, produciendo glicolato y evitando la presencia de la fotorrespiración. Estos efectos son de gran ayuda y aumentan la eficiencia de la ganancia neta de carbono al mermar la pérdida de CO₂ fotorrespiratorio y extraviar el ATP y el NADPH del metabolismo foto respiratorio hacia la asimilación fotosintética, como también la respuesta positiva que se observó en el crecimiento de la palma aceitera en altos niveles de CO₂ también podría darse a un significativo aumento en la producción o la extensión celular (Hafiz *et al.*, 2009).

El cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) enfrenta diversos desafíos fisiológicos y ambientales que afectan su crecimiento y productividad. El estrés salino representa una amenaza significativa, comprometiendo el equilibrio osmótico e iónico de la planta, lo que limita su capacidad para absorber agua y nutrientes esenciales. La presencia elevada de solutos en la solución del suelo no solo reduce el potencial osmótico y el potencial hídrico, sino que también ocasiona un desequilibrio en los componentes iónicos y osmóticos en las células vegetales, lo que resulta en una serie de alteraciones fisiológicas y metabólicas. El estrés salino desencadena una serie de respuestas celulares que incluyen la producción de especies reactivas de oxígeno, cambios hormonales y una reducción en la capacidad de absorción de nutrientes esenciales como el potasio, el calcio y el magnesio. A su vez se generan efectos morfofisiológicos significativos como la disminución en la expansión celular, la necrosis de las hojas y una reducción en la tasa de transpiración.

Además, el desbalance de nitrógeno (N) puede llevar a síntomas visibles como la

clorosis y la reducción en el crecimiento de la palma de aceite. Tanto la deficiencia como el exceso de este macronutriente tienen impactos adversos en la fotosíntesis y la producción de biomasa. La carencia de este elemento provoca una disminución en la tasa de fotosíntesis, la acumulación de carbohidratos y una alteración en la distribución de nutrientes entre las diferentes partes de la planta, lo que resulta en un mal estado nutricional y una reducción significativa en la producción y el peso de los frutos. El exceso de N también tiene consecuencias negativas, como el desequilibrio en la producción de inflorescencias masculinas y femeninas, lo que puede afectar la fecundidad y la producción de frutos de la palma de aceite.

Por otro lado, la deficiencia de manganeso (Mn) en la palma de aceite afecta negativamente la síntesis de clorofila y la eficiencia fotosintética, manifestándose en síntomas como clorosis intervenal y deformaciones en las hojas. Su deficiencia altera estas funciones, resultando en una disminución de la eficiencia fotosintética y en la acumulación de radicales libres que pueden dañar las células. Además, la deficiencia de Mn causa una reducción del tamaño y un amarillamiento de las hojas jóvenes, lo que compromete aún más la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis de manera efectiva. Esta deficiencia también tiene un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las raíces, inhibiendo su crecimiento y causando una lignificación temprana de los tejidos.

Las auxinas tienen un papel crucial en la regulación del crecimiento y desarrollo, influenciando desde la elongación celular hasta la adaptación a condiciones de estrés como sequía y salinidad. La aplicación estratégica de auxinas, como el ácido naftalenacético (ANA) en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), no solo induce la partenocarpia y aumenta el contenido de aceite en los frutos, mejorando la rentabilidad del cultivo, sino que también

promueve la formación de frutos adicionales al facilitar la recuperación de inflorescencias no polinizadas. Sin embargo, es importante destacar que las altas concentraciones de auxinas pueden causar estrés oxidativo debido al aumento de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que subraya la necesidad de un manejo cuidadoso de estas fitohormonas para evitar efectos adversos en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Roowi *et al.*, 2010).

La fotosíntesis en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) enfrenta desafíos como la fotorrespiración en condiciones adversas

como altas temperaturas y déficit hídrico, lo que limita su eficiencia fotosintética. La gestión precisa de variables como la luz, el agua y la concentración de CO₂ emerge como clave para mejorar esta función crucial dadas las características intrínsecas de fijación C3, lo que implica una mayor sensibilidad a las condiciones ambientales externas y su respuesta consecuente en la apertura/cierre de estomas facilitando así los procesos de fotorrespiración, muy en contra de la eficiencia fisiológica base del proceso de fotosíntesis. El resumen de los efectos fisiológicos de esta particularidad se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Características Fisiológicas de la Fotosíntesis en la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Aspecto	Descripción	Referencias
Transformación de Energía	Las palmas utilizan la fotosíntesis para convertir energía solar en energía química, impulsando la fijación de CO ₂ y la formación de materia orgánica en los tejidos vegetales.	Rivera & Romero, 2017
Parámetros Fotosintéticos	Eficiencia fotosintética y tasa de fotosíntesis máxima son cruciales para evaluar el proceso fotosintético.	Rivera & Romero, 2017
Proceso Fotosintético C3	Utiliza el ciclo de Calvin-Benson para fijar CO ₂ en forma de ácido 3-fosfoglicerilaldehído.	Boujenna <i>et al.</i> , 2022
Medición de Fotosíntesis	Tecnologías como la Modulación De Amplitud De Pulso (PAM) muestran variaciones diarias en la tasa de fotosíntesis, adaptándose a la variabilidad de la luz solar.	Apichatmeta <i>et al.</i> , 2017
Efectos del Estrés Abiótico	Estrés hídrico, altas temperaturas y déficit hídrico afectan la fotosíntesis, causando cierre estomático y reducción de la eficiencia fotosintética.	Suresh <i>et al.</i> , 2010; Lopes <i>et al.</i> , 2021; Bayona-Rodríguez <i>et al.</i> , 2016
Fotorrespiración	Se incrementa bajo altas temperaturas y déficit hídrico, limitando la eficiencia fotosintética al fijar O ₂ en lugar de CO ₂ .	Apichatmeta <i>et al.</i> , 2017; Filho <i>et al.</i> , 2021
Influencia de la Densidad de Siembra	Afecta la capacidad de captar luz solar y CO ₂ , reduciendo la fotosíntesis en hojas del dosel.	Romero <i>et al.</i> , 2023; Cayón <i>et al.</i> , 2007
Regulación de Equilibrio Hídrico	La apertura y cierre de estomas regulan el intercambio de CO ₂ y la transpiración, afectando la eficiencia fotosintética y el balance hídrico.	Ibrahim <i>et al.</i> , 2010; Moreno <i>et al.</i> , 2014
Impacto del Estrés Salino y Desbalance de Nutrientes	Estrés salino y desbalances de nitrógeno y manganeso afectan la fotosíntesis, la transpiración y el crecimiento, causando clorosis y necrosis de hojas.	Bayona-Rodríguez <i>et al.</i> , 2016; Pérez y Cayón, 2010; Moreno <i>et al.</i> , 2014

Uso de Enriquecimiento con CO₂	Mejora la fotosíntesis y reduce la fotorrespiración en plántulas, acelerando el crecimiento y producción de fotoasimilados.	Hafiz et al., 2009
Regulación del Crecimiento por Auxinas	Influyen en la elongación celular y adaptación al estrés, con aplicaciones de ácido naftalenacético (ANA) que inducen partenocarpia y aumentan la producción de aceite.	Aucique et al., 2012; Jin et al., 2022

Fuente: Autores (2024). Esta tabla sintetiza la complejidad del proceso fotosintético en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), destacando factores que afectan su eficiencia, como el estrés hídrico, las temperaturas elevadas, el déficit de nutrientes y la fotorrespiración. El uso de tecnologías como PAM para medir la fotosíntesis y la aplicación de auxinas para mejorar la producción de aceite ilustran los esfuerzos por optimizar este proceso vital.

4. CONCLUSIONES

El cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) enfrenta diversos desafíos fisiológicos y ambientales que afectan su crecimiento y productividad. El estrés salino representa una amenaza significativa, comprometiendo el equilibrio osmótico e iónico de la planta, lo que limita su capacidad para absorber agua y nutrientes esenciales. La presencia elevada de solutos en la solución del suelo no solo reduce el potencial osmótico y el potencial hídrico, sino que también ocasiona un desequilibrio en los componentes iónicos y osmóticos en las células vegetales, lo que resulta en una serie de alteraciones fisiológicas y metabólicas. El estrés salino desencadena una serie de respuestas celulares que incluyen la producción de especies reactivas de oxígeno, cambios hormonales y una reducción en la capacidad de absorción de nutrientes esenciales como el potasio, el calcio y el magnesio. A su vez se generan efectos morfofisiológicos significativos como la disminución en la expansión celular, la necrosis de las hojas y una reducción en la tasa de transpiración.

Además, el desbalance de nitrógeno (N) puede llevar a síntomas visibles como la clorosis y la reducción en el crecimiento de

la palma de aceite. Tanto la deficiencia como el exceso de este macronutriente tienen impactos adversos en la fotosíntesis y la producción de biomasa. La carencia de este elemento provoca una disminución en la tasa de fotosíntesis, la acumulación de carbohidratos y una alteración en la distribución de nutrientes entre las diferentes partes de la planta, lo que resulta en un mal estado nutricional y una reducción significativa en la producción y el peso de los frutos. El exceso de N también tiene consecuencias negativas, como el desequilibrio en la producción de inflorescencias masculinas y femeninas, lo que puede afectar la fecundidad y la producción de frutos de la palma de aceite.

Por otro lado, la deficiencia de manganeso (Mn) en la palma de aceite afecta negativamente la síntesis de clorofila y la eficiencia fotosintética, manifestándose en síntomas como clorosis intervenal y deformaciones en las hojas. Su deficiencia altera estas funciones, resultando en una disminución de la eficiencia fotosintética y en la acumulación de radicales libres que pueden dañar las células. Además, la deficiencia de Mn causa una reducción del tamaño y un amarillamiento de las hojas jóvenes, lo que compromete aún más la capacidad de la planta para realizar la

fotosíntesis de manera efectiva. Esta deficiencia también tiene un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las raíces, inhibiendo su crecimiento y causando una lignificación temprana de los tejidos.

Las auxinas tienen un papel crucial en la regulación del crecimiento y desarrollo, influenciando desde la elongación celular hasta la adaptación a condiciones de estrés como sequía y salinidad. La aplicación estratégica de auxinas, como el ácido naftalenacético (ANA) en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), no solo induce la partenocarpia y aumenta el contenido de aceite en los frutos, mejorando la rentabilidad del cultivo, sino que también promueve la formación de frutos adicionales al facilitar la recuperación de inflorescencias no polinizadas. Sin embargo, es importante destacar que las altas concentraciones de auxinas pueden

causar estrés oxidativo debido al aumento de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que subraya la necesidad de un manejo cuidadoso de estas fitohormonas para evitar efectos adversos en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La fotosíntesis en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) enfrenta desafíos como la fotorrespiración en condiciones adversas como altas temperaturas y déficit hídrico, lo que limita su eficiencia fotosintética. La gestión precisa de variables como la luz, el agua y la concentración de CO₂ emerge como clave para mejorar esta función crucial dadas las características intrínsecas de fijación C3, lo que implica una mayor sensibilidad a las condiciones ambientales externas y su respuesta consecuente en la apertura/cierre de estomas facilitando así los procesos de fotorrespiración, muy en contra de la eficiencia fisiológica base del proceso de fotosíntesis.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Segundo autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Tercer autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Cuarto autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Quinto autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Sexto autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Séptimo autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original, logística, supervisión, conceptualización, revisión y edición

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al equipo editorial del Sello UNAD por su invaluable apoyo y dedicación en la revisión y publicación de este artículo. Agradecemos profundamente a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por brindar el entorno académico y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Asimismo,

extendemos nuestra gratitud al equipo investigador FIVEG, cuyo esfuerzo y colaboración han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de este estudio. Su compromiso y trabajo en equipo han sido indispensables para alcanzar los objetivos planteados.

LITERATURA CITADA

- Abidin, A., Wong, Y., Rahman, N., Idris, Z., & Yusof, Z. (2016). Osmotic, oxidative and salinity stresses upregulate the expressions of thiamine (Vitamin B1) biosynthesis genes (THIC and THI1/THI4) in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Journal Oil Palm Research*, 28(3); 308-319. <http://jopr.mpob.gov.my/wpcontent/uploads/2016/09/jopr28sept-aisamuddin.pdf>
- Aleman, L., Combatt, E., & Arrieta, A. (2021). Effect of Salinization by NaCl on the Growth of African Palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *Revista de Chimie*, 72(2), 83-93. <https://doi.org/10.37358/rc.21.2.8422>
- Apichatmeta, K., Sudsiri, C. J., & Ritchie, R. J. (2017). Photosynthesis of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Scientia Horticulturae*, 214, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.013>
- Ariffin, M. R., Ahmed, O. H., Isa, I. M., & Khairuddin, M. N. (2019). Effects of moisture level on nitrogen availability in tropical peat soil cultivated with oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 41(1), 166-174. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i1.2007>
- Ashraf, A., Zulkefly, S., Adekunle, S., & Samad, M. (2017). Growth and biomass yield of oil palm (*Elaeis guineensis*) seedlings as influenced by different rates of vermicompost. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 2(8), 17-21. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2017.2.8.405>
- Aucique, P., Carlos, E., Daza, S., & Romero, H. M. (2012). Efecto del etileno en el crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*, Jacq.), en fase de vivero. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/85538>
- Ayala, I. M., & Gómez, P. L. (2000). Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *Palmas*, 21(especial), 10-21. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/754/754>
- Ballen, M. (2019). Análisis Mediante el estado del arte de los efectos de las aplicaciones de Fitohormonas en la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) para la modificación del sexo en campo experimental Palmar La Vizcaína. *Biblioteca Universidad de Cundinamarca*, (5-10). <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1675/AN%C3%81LISIS%20MEDIANTE%20EL%20ESTADO%20DEL%20ARTE%20DE%20LOS>

[%20EFECTOS%20DE%20LAS%20APLICACIONES%20DE%20FITOHORMONAS%20EN%20LA%20PAL.pdf?sequence=1](#)

- Barrios, R., Del Valle, M., Rivas, E., Fariñas, J., Salazar, J., Rodríguez, G. (2011). Efecto del déficit hídrico sobre el ciclo productivo de la palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 61 (3-4) 267 - 274. <https://ve.scielo.org/pdf/at/v61n3-4/art09.pdf>
- Bayona-Rodríguez, Cristihian Jarri ; Ochoa-Cadavid, Iván ; Romero, Hernán Mauricio. (2016). Impacts of the dry season on the gas exchange of oil palm (*Elaeis guineensis*) and interspecific hybrid (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*) progenies under field conditions in eastern Colombia.(2016). *Agronomía colombiana*,34(3),329 - 335. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180350123004>
- Benavides, A. (2003) Fotosíntesis: Diferencias en las vías metabólicas C3, C4, CAM. Repositorio, Universidad nacional del nordeste. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fotosintesis%20C3,C4%20y%20CAM.pdf>
- Bittencourt, C., Carvalho da Silva, T., Rodrigues Neto, J., Vieira, L., Leão, A., de Aquino Ribeiro, J., Verardi, P., Ferreira de Sousa, C., & Souza Jr, M. (2022). Insights from a Multi-Omics Integration (MOI) Study in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Response to Abiotic Stresses: Part One—Salinity. *Plants*, 11(13), 1755. <https://doi.org/10.3390/plants11131755>
- Boujenna A., Martos, V., García del Moral, B. García del Moral, L. (2022). Determinación semicuantitativa de puntos de compensación para el CO2 en plantas C3 y C4 como práctica experimental en la docencia Eco fisiología Vegetal. *Reidocrea*, 11(21), 239-244. <http://dx.doi.org/10.30827/Digibug.74316>
- Broschat, T. K. (2009). Palm nutrition and fertilization. *HortTechnology*, 19(4), 690-694. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.4.690>
- Cadena, I. (2018). Factores del estrés abiótico que afecta la nutrición en el cultivo de palma de aceite. *GREPALMA*. 36. <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/11/D1-C4-Factores-de-estre%CC%81s-abia%CC%81tico-que-limitan-la-eficiencia-nutricional.pdf>
- Carvalho, R., Travassos, L., Gomes, Z., Paulino, L., Scherwinski, J., Mehtab,A.(2014). Proteomic identification of differentially expressed proteins during the acquisition of somatic embryogenesis in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal Of Proteomics* 104, 112 - 127. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.03.013>

- Cayón, D. G., Avellaneda, C. A., & Rodríguez, F. (2007). Aspectos fisiológicos asociados a la Marchitez letal de la palma de aceite. *Palmas*, 28(especial,), 373-382. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1273/1273>
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. i. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana*, 28(1), 237. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>
- Crespo Gonzalez, J. J., Ruiz Villadiego, O. S., & Ospino Villalba, K. S. (2020). Determinación de nitrógeno foliar en palma de aceite con espectroscopía en el infrarrojo medio (mir) y cercano (nir) por el método de regresión de mínimos cuadrados parciales de componentes principales (pls). *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 11(2), 43-57. <https://doi.org/10.22490/21456453.3206>
- Cruz, V., Paredes, E., Vega, C., Bernal, G., Sánchez, J., Jaramillo, R., Calvache Ulloa, M. (2020). Relación entre el contenido clorofílico sobre el estado nutricional en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Alfa*, 2(4), 50-60. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v2i4.37>
- Daza, E., Ayala-Díaz, I., Ruiz-Romero, R., & Romero, H. M. (2021). Effect of the application of plant hormones on the formation of parthenocarpic fruits and oil production in oil palm interspecific hybrids (*Elaeis oleifera* Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). *Plant Production Science*, 24(3), 354-362. <http://dx.doi.org/10.1080/1343943X.2020.1862681>
- Dussán, S. Villegas, D. Miranda, D. (2016). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava*L.) var. ICA Palmira II en fase de vivero. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732016000100004&script=sci_arttext
- Ferreira, F., Carvalho, T., Rios, L., Belo, V., Pereira, A., Mota, M., Coiti, R., Ferreira, C., Grynberg, P & Teixeira, M. (2022) The early response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plants to water deprivation: Expression analysis of miRNAs and their putative target genes, and similarities with the response to salinity stress. *Frontiers in Plant Science*, (13). <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.970113>
- Ferreira, T., Ferreira, J., Leão, A., Ferreira, C., & Souza, M. (2022). Structural and functional analysis of stress-inducible genes and their promoters selected from young oil palm (*Elaeis guineensis*) under salt stress. *BMC Genomica*, 23(1); 735. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08926-6>
- Ferreira, T., Leão, A., Ferreira, C., & Souza, M. (2021). Genes highly overexpressed in salt-stressed Young oil palm (*Elaeis guineensis*) plants. *Revista Brasileira de Engenharia*

- Agrícola e Ambiental*. 25(12); 813-818. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p813-818>
- Filho, W. R. L. L., Rodrigues, F. H. S., Ferreira, I. V. L., Correa, L. O., Da Cunha, R. L., & Pinheiro, H. A. (2021). Physiological responses of young oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plants to repetitive water deficit events. *Industrial Crops and Products*, 172, 114052. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114052>
- Goh, S. H. H. A. Y., & Joo, K. (2016). Nitrogen Fertilization and its Effect on Boron Uptake and Distribution in Young Oil Palm. [https://www.academia.edu/download/44759240/Nitrogen Fertilization and its Effect on20160415-11241-nyalqt.pdf](https://www.academia.edu/download/44759240/Nitrogen_Fertilization_and_its_Effect_on20160415-11241-nyalqt.pdf)
- Gomes, F. P., Oliva, M. A., Mielke, M. S., de Almeida, A. A. F., Leite, H. G., & Aquino, L. A. (2008). Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 62(3), 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.08.006>
- Hafiz, M., Jaafar, H., Haniff, M & Rafi, M. (2009). Cambios en el crecimiento y los patrones fotosintéticos de plántulas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) expuestas a CO₂ a corto plazo2 Enriquecimiento en una cámara superior cerrada. *Acta Physiol Plant*. (32);305–313. <https://doi.org/10.37358/Rev.Chim.1949>
- Hao, P., Zhu, J., Gu, A., Lv, D., Ge, P., Chen, G., ... & Yan, Y. (2015). An integrative proteome analysis of different seedling organs in tolerant and sensitive wheat cultivars under drought stress and recovery. *Proteomics*, 15(9), 1544-1563. <https://doi.org/10.1002/pmic.201400179>
- Henson, I. E. (1991). Age-related changes in stomatal and photosynthetic characteristics of leaves of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Elaeis*, 3(2), 336-48. <http://jopr.mpob.gov.my/age-related-changes-in-stomatal-and-photosynthetic-characteristics-of-leaves-of-oil-palm-elaeis-guineensis-jacq/>
- Henson, I. E. (2004). Estimating maintenance respiration of oil palm. *Oil Palm Bulletin*, (48), 1-10. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20043130026>
- Hernandez, J. A., Corpas, F. J., Gomez, M., del Rio, L. A., & Sevilla, F. (1993). Salt-induced oxidative stress mediated by activated oxygen species in pea leaf mitochondria. *Physiologia Plantarum*, 89(1), 103-110. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb01792.x>
- Hernandezlab, D. (2013, abril 16). Estrés oxidativo inducido por salinidad en plantas. Antioxidantsgroup. <https://antioxidantsgroup.wordpress.com/2013/04/16/estres-oxidativo-inducido-por-salinidad-en-plantas/>

- Ibrahim, M., Jaafar, H., Harun, M., & Yusop, M. (2010). Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings exposed to short-term CO₂ enrichment in a closed top chamber. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 305-313. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0408-y>
- Ikhajiagbe, B., Aituae, W. y Ogwu, MC (2022). Evaluación morfofisiología de plántulas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) expuestas a condiciones de sequía simuladas. *J Res. Palma Aceitera*, 34 (1), 26-34. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2021/11/joprinpress2021-ogwu.pdf>
- Instituto internacional de nutrición vegetal. (1998). Síntomas de deficiencias de nutrientes y desórdenes en palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq. *Revista Informaciones agronómicas*, 30, 26-59. [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/\\$FILE/G%20Palma.002.pdf/G%20Palma.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/$FILE/G%20Palma.002.pdf/G%20Palma.pdf)
- Jazayeri, S. M., Rivera, Y. D., Camperos-Reyes, J. E., & Romero, H. M. (2015). Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 164-173. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49846>
- Jeyalakshmi, S & Radha, R. (2017). A REVIEW ON DIAGNOSIS OF NUTRIENT DEFICIENCY SYMPTOMS IN PLANT LEAF IMAGE USING DIGITAL IMAGE PROCESSING. *Department of Computer Science, Guru Nanak College India*, 7(4). <https://doi.org/10.21917/ijivp.2017.0216>
- Jin, L., Yarra, R., Zhou, L., & Cao, H. (2022). The auxin response factor (ARF) gene family in Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.): Genome-wide identification and their expression profiling under abiotic stresses. *Protoplasma*, 259(1), 47-60. <https://doi.org/10.1007/s00709-021-01639-9>
- Karimi, S., Rahemi, M., Maftoun, M., & Tavallali, V. (2009). Effects of long-term salinity on growth and performance of two pistachio (*Pistacia* L.) rootstocks. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 1630-1639. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093184020>
- Kee, K. K., Goh, K. J., & Chew, P. S. (1995). Investigation into manganese deficiency in mature oil palms (*E. guineensis*) in Malaysia. *Fertilizer research*, 40, 1-6. <https://doi.org/10.1007/BF00749857>
- Lamade, E., Tcherkez, G., Darlan, N., Rodrigues, R., Fresneau, C., Mauve, C., Lamothe-Sibold, M., Sketriené, D., & Ghashghaie, J. (2016). Natural ¹³C distribution in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and consequences for allocation pattern. *Plant, cell & environment*, 39(1), 199-212. <https://doi.org/10.1111/pce.12606>

- Lamz Piedra, A., y González Cepero, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales*, 34(4), 31-42. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362013000400005&script=sci_arttext&tlng=pt
- Las Buenas Prácticas de Manejo (BPM) en Palma de Aceite. (sf). Síntomas de Deficiencia_ Nitrógeno (N). <https://www.asesoria-bpm-palma.com/espa%C3%B1ol/s%C3%ADntomas-de-deficiencia/nitr%C3%B3geno-n/>
- Leão, A.P., Bittencourt, C.B., da Silva, T.L.C., Neto, J.C.R., Braga, I.D.O., Viera, L.R., De Aquino, J.A., Verardi, P., Ferreira, C.A. & Souza, M.T. (2022). Insights from a Multi-Omics Integration (MOI) Study in Oil Palm (*Elaeis guineensis*, Jacq) Response to Abiotic Stresses: Part Two—Drought. *Plants*, 11(20), 2786. <https://doi.org/10.3390/plants11202786>
- Lopes, W., Santos, F., Ferreira, I., Oliveira, C., Lisboa, R & Pinheiro, H. (2021). Physiological responses of young oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plants to repetitive water deficit events. *Industrias crops and products*. (72); 214052. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669021008177>
- Lothier, J., Diab, H., Cukier, C., Limami, A & Tcherkez, G. (2020). Metabolic Responses to Waterlogging Differ between Roots and Shoots and Reflect Phloem Transport Alteration in *Medicago truncatula*. *Plantas*. 9 (10); 1373. <https://doi.org/10.3390/plants9101373>
- Madison, J. (2018). Landscapes and resistance in the African diaspora: Five centuries of palm oil on Bahia's Dendê Coast. *Journal of Rural Studies*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.04.009>
- Martínez-Villavicencio, N., López-Alonzo, C. V., Pérez-Leal, R., & Basurto-Sotelo, M. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(3), 156-161. <https://doi.org/10.54167/tch.v5i3.694>
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26-35. http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_salinidad_en_suelos_espanol.pdf
- Melgarejo, L. M., Romero, M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suárez, D., ... & Pérez, W. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. *Departamento de Biología*, 124-129. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11144>
- Miller, G., Shulaev, V., & Mittler, R. (2008). Reactive oxygen signaling and abiotic stress. *Physiologia plantarum*, 133(3), 481-489. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01090.x>

- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9), 405-410. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Montoya, C., Mejia-Alvarado, F., Botero-Rozo, D., Ayala-Diaz, I., & Romero, H. (2023). Parthenocarpy-related genes induced by naphthalene acetic acid in oil palm interspecific O× G [*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés× *Elaeis guineensis* Jacq.] hybrids. *Frontiers in Genetics*, 14, 1099489. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1099489>
- Morales, D.; Rodríguez, P.; Sánchez-Blanco, M. de J. y Torrecillas, A. (2004). Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas de diferentes variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 4, p. 11-16. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/download/486/pdf>
- Moreno, A., Camperos, J., Rivera, Y. y Romero, H.M. (2014). Cambios fisiológicos y bioquímicos en genotipos de palma de aceite como respuesta a dos saturaciones de aluminio en el suelo. *Palmas*, 35(2), 11-21. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10976>
- Mosquera, L., Riaño, N., Arcila, J., Ponce, C. (1999). Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café, *Coffea* sp. *Cenicafé*. 50(3) 215-221. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2803%29215-221.pdf>
- Munns, R. (2002), Fisiología comparada del estrés hídrico y salino. *Planta, célula y medio ambiente*, 25: 239-250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist*, 167(3), 645-663. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Muñoz, R. (1981). Aspectos generales de la nutrición y fertilización *Elaeis guineensis* Jacq con énfasis en las condiciones colombianas. *Temas de orientación agropecuaria*. 149, 101-123. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/23460>
- Muñoz. A. R. (1975). Las condiciones, c. e. a. y fertilización (*Elaeis guineensis* Jacq.). Con énfasis en las condiciones colombianas. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/23460/22594_3418.pdf?sequence=1
- Oliveira de Oliveira, H., Gledson Luiz Salgado, d. C., Lorena, O. C., Walter Vellasco, D. S., Sidney Vasconcelos, d. N., Rafael Borges da, S. V., Guilherme Corrêa, d. O., Rodolfo

- Inacio, N. S., Reginaldo Alves Festucci-Buselli, & Hugo, A. P. (2019). Coupling physiological analysis with proteomic profile to understand the photosynthetic responses of young *Euterpe oleracea* palms to drought. *Photosynthesis Research*, 140(2), 189-205. <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0597-6>
- Oliveira, M. A. J. D., Bovi, M. L. A., Machado, E. C., Gomes, M. M. D. A., Habermann, G., & Rodrigues, J. D. (2002). Photosynthesis, stomatal conductance and transpiration in peach palm under water stress. *Scientia Agrícola*, 59, 59-63. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100008>
- Orjuela, R. H. Y. (2019). Nutrition and fertilization with micronutrients and their effect on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Review. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(2), 93-110. <https://doi.org/10.24054/cyta.v4i2.1068>
- Owen, E. (1993). Requirements of micronutrients for the oil palm crop (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Fedepalma*, 14. *Palmas*, 14(4), 9-25. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/388/388>
- Owen, E. J. (1992). Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. *Palmas*, 13(2), 39-64. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/344/344>
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, VP & Prasad, SM. (2015). Efecto del estrés salino en las plantas y sus estrategias de tolerancia: una revisión. *Investigación sobre ciencia ambiental y contaminación*, 22, 4056-4075. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3739-1>
- Partida-Ruvalcaba, L., de Jesús Velázquez-Alcaraz, T., Acosta-Villegas, B., & Angulo-Gaxiola, C. E. (2006). Extractos vegetales y su efecto en la conductividad eléctrica de dos suelos salinos y de soluciones. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 83-89. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311494010.pdf>
- Paul, S., Gayen, D., Datta, SK & Datta, K. (2015). La disección del proteoma de la raíz de cultivares de arroz transgénicos desentraña alteraciones metabólicas y la acumulación de nuevas proteínas que responden al estrés bajo estrés por sequía. *Ciencia de las Plantas*, 234, 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.02.006>
- Perdomo, J. A., Capó-Bauçà, S., Carmo-Silva, E., & Galmés, J. (2017). Rubisco and rubisco activase play an important role in the biochemical limitations of photosynthesis in rice, wheat, and maize under high temperature and water deficit. *Frontiers in plant science*, 8, 490. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00490>
- Pérez, Á. P., & Cayón, G. (2010). Metabolismo de carbohidratos en palmas de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por marchitez letal. *Agronomía Colombiana*, 28(2), 181-

187. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652010000200007&script=sci_arttex
- Rey, L., Gómez, P., Ayala, I., Delgado, W., & Rocha, P. (2004) Colecciones genéticas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) y (*Elaeis oleífera*) (HBK) de Cenipalma: características de importancia para el sector palmicultor. *Revista Palmas*, 25(especial) 39-48.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1065/1065>
- Reyes, A. J., Álvarez – Herrera, J. G., Fernández, J. P. (2013). Papel del calcio en la apertura y el cierre estomático y sus interacciones con solutos compatibles. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 111 – 122.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732013000100011&script=sci_arttext
- Ríos, L., Belo, V., Casari, R., Osorio, P., Ferreira, C., & Souza, M. (2020). Morphophysiological responses of young oil palm plants to salinity stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55.
<https://www.scielo.br/j/pab/a/4DkJnryBBcYqrZvK9Drhxyw/?lang=en&format=html#>
- Rivera, D., Cuenca, J & Romero, H. (2016). Respuestas fisiológicas de plántulas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) a diferentes condiciones hídricas del suelo. *Agronomía Colombia*, 34 (2); 163-171. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.55568>
- Rivera-Mendes, Y. D., Cuenca, J. C., & Romero, H. M. (2016). Physiological responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under different water soil conditions. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 163-171.
<https://www.redalyc.org/journal/1803/180348900005/html/>
- Rivera-Méndez, Y. D., & Romero, H. M. (2017). Fitting of photosynthetic response curves to photosynthetically active radiation in oil palm. *Agronomía Colombiana*, 35(3), 323-329. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n3.63119>
- Romero, H, Ruíz Romero, R, Forero, D. Guataquira, S. (2023). Densidad de siembra e interceptación de luz de los cultivares híbridos interespecíficos OxG. *Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma*.
<https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/142800>
- Romero, H. M., Daza, E., Ayala-Díaz, I. Ruiz-Romero, R. (2021). Producción de aceite de palma alto oleico (APAO) a partir de frutos partenocárpicos en híbridos interespecíficos de palma de aceite utilizando ácido naftalenacético. (Traductor Arenas, C.) *Palmas*, 43(3), 18 -39.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13914>

- Romero, H., Ayala, I., Ruíz, R. (2007). Eco fisiología de la palma de aceite. *Palmas*. 28(especial) 176-184. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1254>
- Romero, H., Caicedo, A y Ayala, I. (2020). Utilización de ácido 1-naftalenacético (ANA) para incrementar la producción de aceite en palma africana (*Elaeis guineensis* jacq). *Fedepalma*, (576). <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/12981/12828>
- Roowi, S. H., Ho, C. L., Alwee, S. S. R. S., Abdullah, M. O., & Napis, S. (2010). Isolation and characterization of differentially expressed transcripts from the suspension cells of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in response to different concentration of auxins. *Molecular Biotechnology*, 46, 1-19. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12033-010-9262-9>
- Santamaría, M., Toledo, D., López, A., Pacheco, J., Saucedo, M., & Madariaga, A. (2023). Impacto del cambio climático sobre la fotosíntesis, fotorrespiración y respiración de plantas C3 <https://doi.org/10.29057/icap.v9iEspecial.8764>
- Santamaría-César, J., Figueroa-Viramontes, U., & del Consuelo Medina-Morales, M. (2004). Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 343-349. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322311.pdf>
- Schiavon, M., Pedroza, A., Leinauer, B., Suarez, D. L., & Baird, J. H. (2017). Varying evapotranspiration and salinity level of irrigation water influence soil quality and performance of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Urban Forestry & Urban Greening*, 26, 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.006>
- Semiring, M., Jefri, Sakiah, & Wahyuni, M. (2018). The inoculation of mycorrhiza and *Talaromyces pinophilus* toward the improvement in growth and phosphorus uptake of oil palm seedlings (*Elaeis guineensis* Jacq) on saline soil media. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(4), 617-622. <https://www.agrojournal.org/24/04-12.pdf>
- Shilev, S. (2020). Plant-growth-promoting bacteria mitigating soil salinity stress in plants. *Applied Sciences*, 10(20), 7326. <https://doi.org/10.3390/app10207326>
- Shulaev V, Cortes D, Miller G, Mittler R (2008) Metabolómica para la respuesta al estrés de las plantas. *Planta Physiol* 132, 199-208. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01025.x>
- Silva, P. A., Cosme, V. S., Rodrigues, K. C., Detmann, K. S., Leão, F. M., Cunha, R. L., Festucci, B.R., DaMatta, F.M. & Pinheiro, H. A. (2017). Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative

- growth. *Acta physiologiae plantarum*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2354-4>
- Silva, P. A., Oliveira, I. V., Rodrigues, K. C., Cosme, V. S., Bastos, A. J., Detmann, K. S., Cunha, R. L. Festtucci, B.R., DaMatta, F.M. & Pinheiro, H. A. (2016). Leaf gas exchange and multiple enzymatic and non-enzymatic antioxidant strategies related to drought tolerance in two oil palm hybrids. *Trees*, 30, 203-214. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1289-x>
- Song, Z., Wang, L., Lai, C., Lee, M., Yang, Z & Yue. G. (2022) "EgSPEECHLESS Responses to Salt Stress by Regulating Stomatal Development in Oil Palm". *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9); 4659. <https://doi.org/10.3390/ijms23094659>
- Sparjanbabul, D.S. Kumar, P.N., Motukuri1, S.R.K., Ramajayam, D., Susanthi, B & Prasanna, H.S. (2021). Effect of culture media, auxins and genotypes on plantlet regeneration from oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) zygotic embryos through somatic embryogenesis. *Journal of Environmental Biology*, 42, 1232-1238. <http://doi.org/10.22438/jeb/42/5/MRN-1706>
- Sun, C., Cao, H., Shao, H., Lei, X., & Xiao, Y. (2011). Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. *African Journal of Biotechnology*, 10(51), 10465-10471. <https://doi.org/10.5897/AJB11.463>
- Suresh, K., Nagamani, C., Kantha, D. L., & Kumar, M. K. (2012). Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water deficit. *Photosynthetica*, 50, 549-556. (2012). <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0062-2>
- Suresh, K., Nagamani, C., Ramachandrudu, K., & Mathur, R. K. (2010). Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. *Photosynthetica*, 48, 430-436. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0056-x>
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany*, 91(5), 503-527. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg058>
- Timothy, K & Broschat. (2009). Palm Nutrition and Fertilization. *HortTechnology*, 19(4); 690-694. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.4.690>
- Timothy, K. & Broschat. (2017). Nitrogen Deficiency in Palms. *UF/IFAS Extension University of Florida*. 19(4); 1-2. <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/documents/NitrogenDeficiencyInPalms.pdf>
- Timothy, K., Broschat, T. (2014). Manganese Deficiency in Palms. *UF/IFAS Extension University of Florida*, 19(4); 1-2.

- <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/documents/ManganeseDeficiencyInPalms.pdf>
- Tucci, M. L. S., Erismann, N. M., Machado, E. C., & Ribeiro, R. V. (2010). Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. *Photosynthetica*, 48, 421-429. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0055-y>
- Viana, J. L., Zolin, C. A., da Silva, V. Q. R., & de Souza, A. P. (2019). Physiological and productive responses of irrigated oil palm in early development phase. *Irriga*, 24(2). <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n2p405-423>
- Viégas, I. de J. M., Silva, S. P. da, Souza, L. C. de, Ferreira, E. V. de O., Costa, M. G., & Barata, H. da S. (2023). A new approach to the nutritional status of manganese in oil palm plants cultivated in the eastern Amazon. *Revista Ceres*, 70(4), 105-116. <https://www.scielo.br/j/rceres/a/FmbhJf6DMmMYJM6PQNRrwSm/>
- Vieira, L. R., Silva, V. N. B., Casari, R. A. das C. N., Carmona, P. A. O., Sousa, C. A. F. de, & Souza Junior, M. T. (2020). Morphophysiological responses of young oil palm plants to salinity stress. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 55, e01835. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01835>
- Villalobos, E. (2001). Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Fascículo I. Repositorio universidad de Costa Rica. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=30uScIaUo94C&oi=fnd&pg=PA18&dq=Fisiolog%C3%ADa+de+la+Producci%C3%B3n+de+Los+Cultivos+Tropicales,+Parte+1&ots=u0rGPIWV5X&sig=CcAvHI6QBo-EUErGg4icVgOkskQ#v=onepage&q=Fisiolog%C3%ADa%20de%20la%20Producci%C3%B3n%20de%20Los%20Cultivos%20Tropicales%2C%20Parte%201&f=false>
- Villareal, L., Soto, A., Centeno, J., Bravo, V. (2022). Una mirada fisiológica a la polinización artificial con ácido α -naftalenacético a la producción de palma aceitera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 1963-1978. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2004
- Villarreal - Villafuerte, L., Celi Soto, A., Centeno Alcívar, J., & Bravo Yandún, V. (2022). Una mirada fisiológica a la polinización artificial con ácido α -naftalenacético a la producción de palma aceitera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 1963-1978. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2004
- Winner H., & Hoong, W. (2012). Effects of salinity on fresh fruit bunch (FFB) production and oil-to-bunch ratio of oil palm (*Elaeis guineensis*) planted in reclaimed mangrove swamp areas in Sabah. *Oil Palm Bulletin*, (65), 12-20. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133151374>

- Yepes, R. (2019). Nutrición y fertilización con micronutrientes y su efecto en palmade aceite (*Elaeis guineensis* Jack). *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 4(2), 93-110. <https://doi.org/10.24054/cyta.v4i2.1068>
- Zhou, L., Yarra, R., Jin, L., & Cao, H. (2020). Genome-wide identification and expression analysis of MYB gene family in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) under abiotic stress conditions. *Environmental and Experimental Botany*. 180; 104245. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104245>
- Zhu, J. K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current opinion in plant biology*, 6(5), 441-445. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00085-2](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00085-2)



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.