

# Agricolae & Habitat

Revista de Investigación Formativa  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Bogotá - Colombia - 2025

Volumen 8 Número 1  
e-ISSN: 2665-3176

 **UNAD** Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia

 **ACREDITADA**  
EN ALTA CALIDAD 

**ECAPMA**  
Escuela de Ciencias  
Agrícolas, Pecuarias y  
del Medio Ambiente



Revista de Investigación Formativa  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Volumen 8 – Número 1 - 2025

e-ISSN: 2665 - 3176



**Revista Agricolae & Habitat**

Volumen 8 – Número 1 - 2025 – e-ISSN: 2665 – 3176

**CUERPO DIRECTIVO****JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR**  
Rector UNAD**CONSTANZA ABADÍA GARCÍA**  
Vicerrector Académica y de  
Investigación**EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ**  
Vicerrector de Servicios a Aspirantes,  
Estudiantes y Egresados**LEONARDO YUNDA PERLAZA**  
Vicerrector de Medios y Mediaciones  
Pedagógicas**JULIA ALBA ANGEL OSORIO**  
Vicerrector de Desarrollo Regional y  
Proyección Comunitaria**LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ  
TORRES**  
Vicerrector de Relaciones  
Internacionales**JORDANO SALAMANCA BASTIDAS**  
Decano Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente**JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ  
SALOMÓN**  
Líder Nacional de Investigación**CAROLINA GUTIÉRREZ**  
Líder Nacional de Investigación  
Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente**EDITORES****GERARDO OJEDA**  
Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente**MARGARITA BONILLA**  
Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente**EDITORES DE SECCION****Cadena Agrícola****SANDRA PATRICIA  
MONTENEGRO****JORGE ARMANDO FONSECA****Cadena Agroforestal****SHIRLEY ANDREA RODRÍGUEZ  
ESPINOSA****Cadena Ambiental****DENISSE VIVIANA CORTES  
CASTILLO****SONIA ESPERANZA RUIZ  
BALAGUERA****Cadena Pecuaria****VIVIANA VILLAMIL REYES****HELENA ESPITIA MANRIQUE****Revista  
Agricolae & Habitat**Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio AmbienteUniversidad Nacional Abierta y a  
DistanciaCalle 14 Sur N. 14-23 Bogotá,  
ColombiaTeléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529  
e-mail:[revista.agricolae@unad.edu.co](mailto:revista.agricolae@unad.edu.co)Los artículos pueden consultarse en  
su versión electrónica en:[https://hemeroteca.unad.edu.co/  
index.php/agricolae/issue/archive](https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/issue/archive)

## DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

---

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducido en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines

Este documento contiene la política de Privacidad y Condiciones de Uso del Portal Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, institución de educación superior colombiana creada por el Congreso de la República mediante Ley 52 de 1981, con el fin de proteger los derechos de los usuarios del portal web institucional, haciendo parte de los documentos Manual de imagen digital de la UNAD y Guía para la publicación de información en el portal institucional y en la intranet, documentos soporte de nuestro sistema de Gestión de Calidad.

La política de privada de la UNAD, detalla la forma como salvaguardamos y utilizamos la información que obtenemos a través de los servicios, trámites e información disponible en nuestro portal web institucional. En este sentido, es importante que antes de iniciar la exploración del portal, el usuario lea previa y cuidadosamente esta política de privacidad y condiciones de uso sobre qué información guardamos y cómo la utilizamos.

La información del portal institucional, contenidos y servicios divulgados son de conocimiento público, por tanto, la aceptación de esta política de privacidad, es condición necesaria para que el usuario navegue nuestro portal.

Para más información, por favor consulte aquí:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/about>

# ÍNDICE

---

## Presentación

6

---

## Sección Agrícola

### 1. CADENA DE VALOR DE LA MORA DE CASTILLA “*Rubus glaucus benth*” EN EL MUNICIPIO DE SILVANIA CUNDINAMARCA, COMO HERRAMIENTA PARA LA GERENCIA ESTRATÉGICA

VALUE CHAIN OF THE CASTILE BLACKBERRY “*Rubus glaucus benth*” IN THE MUNICIPALITY OF SILVANIA CUNDINAMARCA, AS A TOOL FOR STRATEGIC MANAGEMEN

Sonya Esperanza Sanmiguel Quevedo, Juan Carlos Patiño Moller

7

---

## Sección Agrícola

### 2. 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, Yecika Liliana Sánchez Peña, Katherine Bonilla Rúa, Laura Peña Triana, Luis Fernando Londoño Morales, Juan Miguel Arango Astaiza, Dario Fernando Mejia Terán

23

---

## Sección Agrícola

### 3. EFECTO DEL ABONO ORGÁNICO BOCASHI EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) EN RÍO NEGRO, IQUIRA, HUILA

EFFECT OF BOKASHI ORGANIC FERTILIZER ON CORN (*Zea mays*) PRODUCTION IN RÍO NEGRO, IQUIRA, HUILA

Alejandra María Peña Beltrán, Alexander Castro Polanco, John Kennedy Salamanca

63



## PRESENTACIÓN

---

Estimados lectores

Presentamos aquí diversos artículos, fruto de la colaboración entre docentes, estudiantes y exalumnos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Se trata de artículos relacionados con las diferentes cadenas de la Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA: Agrícola, Agroforestal, Ambiental y Pecuaria.

Todos estos artículos representan el trabajo científico y académico Unadista, con la firme convicción de seguir adelante con la labor investigativa de acceso abierto y gratuito.

Saludos cordiales

Gerardo Ojeda  
Margarita Bonilla



Área: agrícola

Fecha de recibido: 14-07-2024

Fecha de aceptado: 30-10-2024

DOI: 10.22490/26653176.8294

## **CADENA DE VALOR DE LA MORA DE CASTILLA “*Rubus glaucus benth*” EN EL MUNICIPIO DE SILVANIA CUNDINAMARCA, COMO HERRAMIENTA PARA LA GERENCIA ESTRATÉGICA**

VALUE CHAIN OF THE CASTILE BLACKBERRY “*Rubus glaucus benth*” IN THE MUNICIPALITY OF SILVANIA CUNDINAMARCA, AS A TOOL FOR STRATEGIC MANAGEMEN

Sonya Esperanza Sanmiguel Quevedo

<sup>1</sup>Especialista en Gerencia de Proyectos, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Soacha, Colombia.

0000-0002-8194-418X

[sonya.saniguel@unad.edu.co](mailto:sonya.saniguel@unad.edu.co)

Juan Carlos Patiño Moller

<sup>2</sup>Especialista en Gerencia de Proyectos, Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA)

0009-0003-3115-3587

[q\\_idagro@hotmail.com](mailto:q_idagro@hotmail.com)

**Citación:** Sanmiguel, S. y Patiño, J. (2025). Cadena de valor de la mora de Castilla “*Rubus glaucus benth*” en el municipio de Sylvania Cundinamarca, como herramienta para la gerencia estratégica. *Agricolae & Habitat*, 8(1), 07 – 21. <https://doi.org/10.22490/26653176.8294>

**RESUMEN**

**Contextualización del tema:** Silvania, municipio con vocación agropecuaria, destaca por la producción de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth). Sin embargo, los productores enfrentan disminución de ingresos debido a la alta intermediación en la comercialización. El desconocimiento de los eslabones de la cadena productiva limita su competitividad y acceso a mercados, afectando sus condiciones económicas.

**Vacío de investigación:** Existe una carencia de estudios que identifiquen y analicen detalladamente los eslabones de la cadena productiva de la mora de castilla en Silvania, así como los factores que inciden en la comercialización y la competitividad de los productores locales.

**Propósito del estudio:** El objetivo principal es identificar cada eslabón de la cadena de producción para que los productores reconozcan su entorno, comprendan limitaciones, potencien fortalezas y oportunidades, e identifiquen factores externos que afectan su producción, permitiéndoles adoptar posiciones competitivas a nivel regional, nacional e internacional.

**Metodología:** Se realizó un estudio con una muestra aleatoria del 33,4% de las unidades productoras de mora de castilla en Silvania, con un 95% de confiabilidad y margen de error del 5%. Se empleó una metodología mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos para el análisis de la cadena productiva.

**Resultados y conclusiones:** El estudio evidenció la necesidad de fortalecer los procesos asociativos y la extensión rural para reducir costos y aumentar el rendimiento por hectárea. Se recomienda capacitar a los productores en diversificación e innovación, así como promover el acceso grupal a financiamiento y tecnología. Como resultado, se diseñó la estructura de la cadena de valor de la mora de castilla en Silvania, identificando los actores de cada eslabón y resaltando la importancia de las agrupaciones asociativas para reducir la intermediación y mejorar el acceso al consumidor final.

**Palabras clave:**

Cadena Productiva, Cadena de valor, ventaja competitiva, ventaja comparativa, modelo gerencial

**ABSTRACT**

**Contextualization:** Silvania is a municipality with a strong agricultural orientation, primarily devoted to the cultivation of Castilla blackberries (*Rubus glaucus* Benth). Despite the crop's economic significance, local producers have experienced declining incomes, largely attributed to the high number of intermediaries involved in the marketing process. This situation highlights the need for a better understanding of the production and marketing chain, as producers currently face challenges in identifying effective sales channels, which

limits their competitiveness and economic well-being.

**Knowledge Gap:** There is a significant lack of knowledge among blackberry producers regarding the structure and dynamics of the value chain, particularly concerning the identification of market opportunities and the roles of different actors. This gap hinders their ability to actively participate in and benefit from each stage of the chain, resulting in missed opportunities for income improvement and market expansion.

**Purpose:** The main objective of this research is to map and analyze each link in

the Castilla blackberry production chain in Sylvania. By doing so, the study seeks to enable producers to better understand their environment, recognize their limitations, and leverage their strengths and opportunities. Additionally, the research aims to identify external factors affecting production, thereby supporting producers in adopting more competitive positions at regional, national, and international levels.

**Methodology:** A mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative data, was employed. The study sampled 33.4% of the local Castilla blackberry production units, using a random sampling method with a 95% confidence level and a 5% margin of error. Data collection focused on mapping the value chain, identifying key actors, and assessing producers' needs and challenges.

**Results and Conclusions:** The findings reveal a pressing need to strengthen associative processes and rural extension services in Sylvania to reduce production costs and increase yields. Training in product diversification and innovation is recommended, alongside collective approaches to financial institutions for improved access to capital and equipment. The study culminated in the design of a value chain structure for Castilla blackberry in Sylvania, highlighting the critical role of producer associations in minimizing intermediaries and enhancing direct access to final consumers.

**Keywords:** Productive chain, Value chain, competitive advantage, comparative advantage, management model

**RESUMEN GRÁFICO**

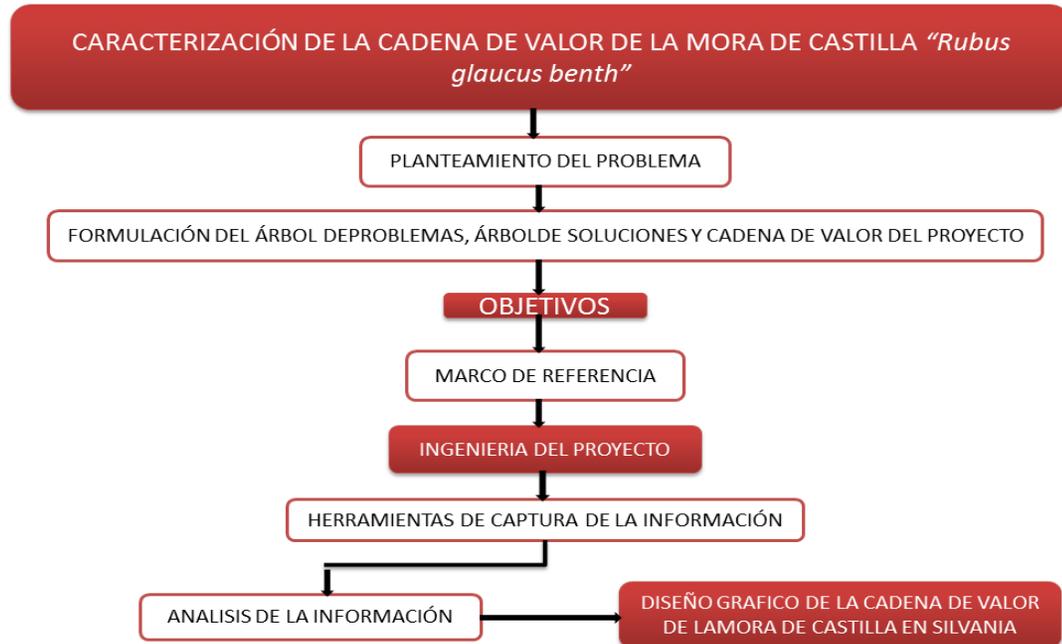


Diagrama de flujo de la caracterización de la cadena de valor de la mora de castilla "Rugus galucus benth". Fuente: Autores

## 1. INTRODUCCIÓN

Silvania Cundinamarca es un municipio que se encuentra a 44 Km. de Bogotá DC. Sobre la vía que conduce a la Ciudad de Ibagué. El territorio de Silvania es 95% rural y 5% urbano<sup>1</sup>, con una vocación netamente agropecuaria. (Plan de desarrollo Juntos por Silvania). La producción de la mora de Castilla "*Rubus glaucus benth*" es el producto que ocupa el primer lugar en producción del municipio, donde 765 familias se dedican a la producción de esta fruta, en 584 Hectáreas, con una producción en el año de 5.740 Ton. (EVAS 2017).

En los últimos años se ha evidenciado una notable disminución de los ingresos de los pequeños productores de mora del municipio de Silvania Cundinamarca, debido al bajo precio percibido por la venta de la mora, como consecuencia de la precaria forma de comercialización realizada por los productores. Los intermediarios son los que realizan la compra de la fruta en casi todo el territorio, quedándose con la mayor parte de la ganancia por la venta de la mora, creando una desigualdad con el productor que es el que más sacrificios aporta a la producción de la fruta.

La disminución de los ingresos de los productores de mora conlleva a problemas sociales como disminución de la calidad de vida de los productores a tal punto que se está evidenciando una migración de campesino a las grandes ciudades en busca de una mejor forma de vida para sus familias. Por tanto, el objeto principal de esta investigación es la realización del diseño de la cadena de valor de la mora de castilla "*Rubus glaucus benth*" para proporcionar a los productores del municipio una herramienta a aplicar para aumentar la rentabilidad de los cultivos y de esta forma mejorar la calidad de vida de la población rural.

De acuerdo con lo planteado por Iglesias, se puede definir la cadena de valor como la colaboración estratégica de las empresas con el propósito de satisfacer objetivos de los mercados en el largo plazo y lograr beneficios mutuos para todos los eslabones, visto de esta manera la cadena de valor es una red de alianzas verticales y estratégicas entre varias empresas de negocios independientes dentro de la cadena agroalimentaria, por tanto, la identificación de los productores de mora de castilla "*Rubus glaucus benth*" es el primer paso para la formulación de la cadena productiva en el municipio de Silvania Cundinamarca (Iglesias 2002).

Por las razones anteriormente expuestas una cadena de valor se crea cuando los diferentes actores se unen con objetivos y metas comunes con el fin de satisfacer a los clientes, las decisiones que se tomen alrededor de las actividades económicas pueden generar riesgos o beneficios que serán compartidos en el momento de la conformación de la cadena de valor. La descripción de los eslabones permitirá que los productores identifiquen su posición en la misma. Para que la cadena de valor sea exitosa debe contener información acerca de las preferencias de los clientes, los miembros de dicha cadena deben ser organizados con el fin de responder al mercado con productos de calidad.

Buitrago & Pinzón, dieron un enfoque investigativo mixto, cuantitativo para la recolección de datos y variables estadísticas y el cualitativo para el estudio de los eslabones de la cadena de mora en la región del Sumapaz. El tipo de investigación que se realizó fue descriptivo. La finalidad de la investigación fue diagnosticar la cadena de valor de la mora de castilla en la región del Sumapaz, tomando como fuentes primarias de la información las asociaciones de moreros de los municipios de Fusagasugá, Pasca y Silvania, a través de las UMATAS de los

diferentes municipios. (Buitrago & Pinzón, 2017).

A pesar de la existencia de este trabajo de investigación es de vital importancia que el municipio de Silvania tenga el diseño de la cadena de valor de la mora de Castilla "*Rubus glaucus benth*", ya que es el cultivo permanente de mayor importancia en el municipio según lo registrado en las EVAS. Los productores de mora de Castilla no tienen identificada la cadena de valor de su producto por tanto desconocen sus potenciales ventajas competitivas y oportunidades de mercado, así mismo no poseen herramientas conceptuales para detectar fallas, falencias, amenazas,

debilidades y los factores externos que pueden llegar a afectar la productividad. (EVAS 2017).

El presente estudio tiene como objetivo diseñar la cadena de valor de la mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth*) en el municipio de Silvania, Cundinamarca. Se busca identificar los actores del proceso productivo, analizar los eslabones de la cadena y reconocer fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Asimismo, se pretende proponer estrategias que fortalezcan la productividad y competitividad del cultivo. Con ello, se espera mejorar los ingresos de los productores y su calidad de vida.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque de la investigación es mixto según Tamayo, Cuantitativo debido a la recolección de datos estadísticos históricos acerca de la producción/año de los últimos 5 años de mora Castilla "*Rubus glaucus benth*" en el municipio de Silvania Cundinamarca y su análisis, por medio de la recolección de datos en las visitas de asistencia técnica agropecuaria de la UMATA (Unidad de Asistencia Técnica Agropecuaria), con la implementación de una encuesta donde se registran los datos socioeconómicos de cada productor. Cualitativo ya que se realizó trabajo de campo, visitando 256 fincas correspondientes al 33,4% del total de unidades productivas agropecuarias dedicadas a la producción de mora de Castilla en el municipio de Silvania Cundinamarca de acuerdo a las EVAS (2017), siendo esta una muestra representativa con el 95% de confiabilidad, estos datos fueron tomados en once veredas, donde se aplicó una encuesta que arrojó los siguientes

resultados: en el eslabón de preparación se hallaron tres actores, los viveros, los proveedores de insumos y los proveedores de maquinaria y equipo, para el eslabón de producción se evidenció que el 60% de los productores son hombres y el 40% son mujeres, así mismos se determinó el rango de edad de los agricultores dedicados a esta actividad productiva, que el 72% de ellos trabajan de forma individual y el 28% pertenecen a una asociación de productores de mora, el nivel de importancia para los productores el cultivo de mora, las principales veredas en donde se encuentra implementado el cultivo, el registro histórico de producción desde al año 2012 y el promedio de producción en toneladas por hectárea en cada una de las veredas. (Tamayo 2006),

De acuerdo con la propuesta de Tamayo, el tipo de investigación utilizado para la caracterización de la cadena de valor de la mora de Castilla es Descriptiva puesto que se detallan todos los procesos que se

llevan a cabo desde la preparación del terreno para la implementación del cultivo hasta que el producto llega al consumidor. (Tamayo 2006),

Con el propósito de identificar cada uno de los eslabones de la cadena de valor de la mora de Castilla, el primer instrumento utilizado para tal fin es la Observación, recolección de datos por medio de encuesta aplicada, con el objeto de reconocer y evidenciar las actividades realizadas por los actores de la cadena de valor en el municipio de Silvania Cundinamarca, luego con la información recolectada se aplica una Lista de Cotejo para analizar los resultados obtenidos. Para la recolección de la información se utilizan tanto las fuentes primarias, así como las fuentes secundarias, con el fin de obtener datos reales y de esta manera detectar las fuentes de debilidades y problemáticas. Las Fuentes Primarias como la encuesta realizada a los productores del municipio y la información de las estadísticas municipales históricas recolectada por la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria UMATA de Silvania Cundinamarca. Dentro de las Fuentes Secundarias encontramos el 3er

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como lo indica la matriz DOFA de la cadena de valor de la mora de Castilla en Silvania, tiene como fortaleza que la mora es un producto de preferencia por parte de los clientes debido a su sabor, lo que lo posiciona como característica diferenciadora frente a otras frutas, el área de siembra en el municipio es superior frente a otros cultivos, quiere decir que el

Censo Nacional Agropecuario de 2015, investigaciones similares de cadenas de valor de la mora en otros municipios, revistas y artículos de investigación, comparación con otros departamentos. Con el propósito de identificar cada uno de los eslabones de la cadena de valor de la mora de Castilla, el primer instrumento utilizado para tal fin es la Observación, recolección de datos por medio de encuesta aplicada, con el objeto de reconocer y evidenciar las actividades realizadas por los actores de la cadena de valor en el municipio de Silvania Cundinamarca, luego con la información recolectada se aplica una Lista de Cotejo para analizar los resultados obtenidos. (AGRONET 2018).

Posteriormente se diseña una matriz DOFA para la identificación de las debilidades y amenazas con el fin de generar estrategias de mitigación frente a los mismos y para el fortalecimiento de las fortalezas y oportunidades. Finalmente, se propone un modelo gerencial con el fin de alcanzar los objetivos, optimizando recursos y mejorando la efectividad en la toma de decisiones.

producto puede cumplir con altos volúmenes en periodos cortos ya que es una fruta que se cosecha semanalmente y la existencia de centros de acopio en el municipio a disposición para que los productores concentren la mora y la distribuya a los diferentes destinos de venta.

**Tabla 1. Diagnostico DOFA Cadena de Valor de la Mora de Castilla en el Municipio de Silvania Cundinamarca.**

Dimensiones internas VS Dimensiones externas	Oportunidades		Amenazas	
	O1. Ubicación.		A1. Comercialización	
	O2. Industrialización del producto.		A2. Limitación en la participación de los diferentes mercados.	
	O3. Asociatividad.		A3. Clima.	
Fortalezas	ESTRATEGIAS FO		ESTRATEGIAS FA	
F1. Producto de preferencia por parte de los clientes debido a su sabor.	Silvania se encuentra ubicado a tan solo 45 minutos de Bogotá y cerca de municipios como Fusagasugá, Melgar y Girardot que no son productores de mora.		El reconocimiento de las propiedades de la mora de castilla producida en Silvania puede otorgar un valor agregado al producto y permitir la apertura de nuevos mercados.	
F2. Área de siembra superior a la de otros cultivos perennes en el municipio.	El volumen de mora producido en Silvania permite el abastecimiento del mercado local y tiene un excedente que puede ser procesado y transformado.		Los grandes volúmenes de producción de mora de castilla en Silvania pueden ser ofertados en diversos mercados.	
F3. Existencia de centros de acopio disponibles en el municipio.	los procesos de asociatividad otorgan herramientas a los productores para cumplir expectativas de mercados regionales, nacionales e internacionales, donde la utilización de los centros de acopio son de vital importancia al interior de los procesos.		El acopio periódico del producto permite conocer el volumen del mismo en las diferentes estaciones del año, de esta manera se pueden generar planes y estrategias ante los aliados comerciales.	
Debilidades	ESTRATEGIAS DO		ESTRATEGIAS DA	
D1. Falta de uso de planes estratégicos.	Al realizar un análisis estratégico podemos determinar la participación en mercados de acuerdo a la ubicación de los productores de mora de castilla del municipio de Silvania.		Con el uso de planes estratégicos se pueden concretar alianzas comerciales.	
D2. Bajo acceso a capital cuando lo requiera.	El acceso a capital permite a los productores la transformación e industrialización de la mora.		El acceso a capital permite que los productores obtengan herramientas para penetrar en nuevos mercados.	
D3. Baja Capacidad de innovación.	La asociatividad permite que los productores adquieran capacidades tecnológicas y de innovación.		La implementación de procesos innovadores en la producción y comercialización de mora permite mitigar los cambios climáticos.	

Fuente: Autores.

Como lo indica la matriz DOFA de la cadena de valor de la mora de Castilla en Silvania, tiene como fortaleza que la mora es un producto de preferencia por parte de los clientes debido a su sabor, lo que lo posiciona como característica diferenciadora frente a otras frutas, el área de siembra en el municipio es superior frente a otros cultivos, quiere decir que el producto puede cumplir con altos volúmenes en periodos cortos ya que es una fruta que se cosecha semanalmente y la existencia de centros de acopio en el municipio a disposición para que los productores concentren la mora y la distribuya a los diferentes destinos de venta.

Del mismo modo, se identificaron como oportunidades la ubicación, ya que indica

que los costos de transporte a Bogotá y los municipios aledaños es inferior a los costos de transporte de otros municipios productores de mora como San Bernardo y Arbeláez, también la industrialización del producto, ya que el proceso de transformación de la mora imprime un valor agregado se contempla como una oportunidad de penetrar en nuevos mercados con la diversificación de productos procesados a base de mora como jugos, néctares, pulpas, mermeladas entre otros y los procesos de asociatividad son fundamentales en el municipio debido a que los productores se destacan por tener entre una (1) y dos (2) hectáreas, característica que los posiciona como pequeños y medianos productores, por tanto los procesos asociativos les permite disminuir costos de producción, cumplir

con volúmenes y jalonar recursos para implementación de procedimientos tecnológicos e innovadores.

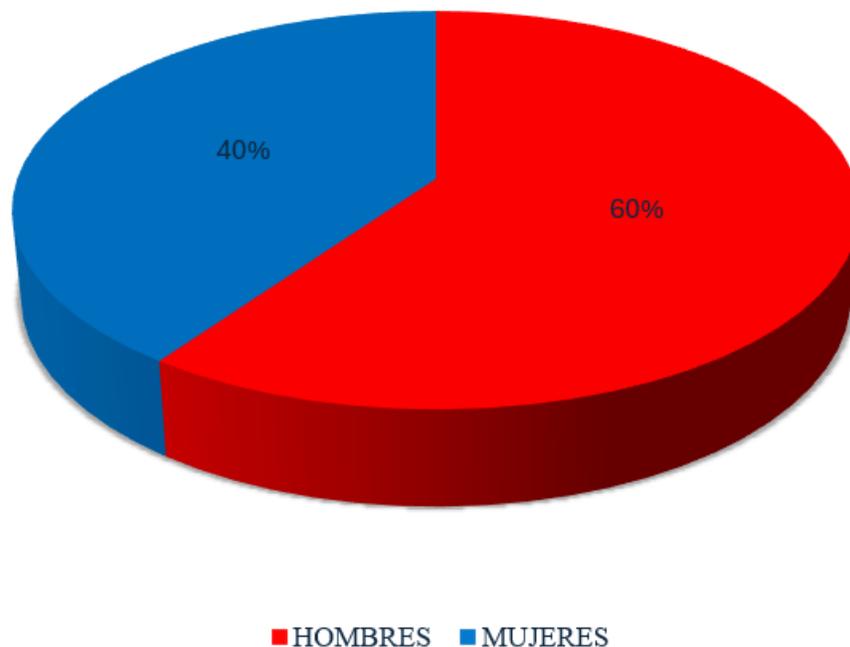
También se establecen como amenazas la comercialización, ya que la intermediación es frecuente, la limitación en la participación de los diferentes mercados puesto que los productores no tienen la capacidad de penetración de nuevos mercados y el clima, aunque es un factor externo que no se puede controlar, se pueden plantear planes de mitigación. Finalmente, las debilidades identificadas son: la falta de uso de planes estratégicos, bajo acceso a capital cuando lo requieran y la baja capacidad de innovación.

Con el objetivo de lograr una mayor comprensión acerca de las actividades al

interior de los eslabones de la cadena de valor de la mora de castilla en el municipio de Silvania Cundinamarca, se realiza una descripción detallada de cada eslabón, se analizan los resultados de la encuesta aplicada y los datos de las fuentes de información terciaria.

Dentro de los datos más relevantes se evidenció que las mujeres tienen una participación del 40% y que los hombres tienen una participación del 60% en donde las mujeres participan con el mismo conocimiento y fuerza de trabajo que los hombres como se identifica en la Figura 2. Por un subregistro en las estadísticas del trabajo de la mujer rural, ellas aparecen generalmente como trabajadoras familiares no remuneradas de acuerdo con lo descrito por (BARALLA 2012).

**FIGURA 2.** Participación de Hombres y Mujeres en la producción de Mora en Silvania.

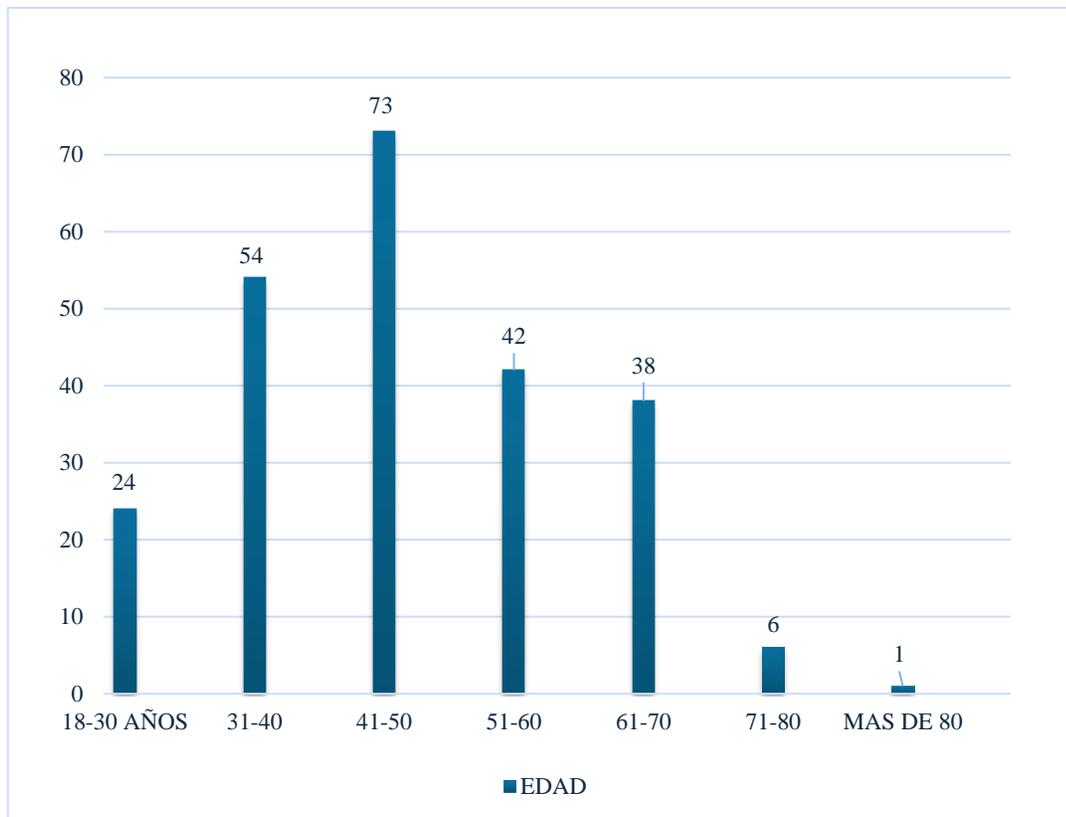


**Fuente:** Lista de chequeo, autores.

También se determinó que las edades de estos productores se encuentran en edades desde los dieciocho (18) años hasta los ochenta (80) años, siendo el

rango de mayor frecuencia las edades entre los cuarenta y un (41) años hasta los cincuenta (50) años, tal como se evidencia en la Figura 3.

**Figura 3.** Rango de Edad de los Productores de mora de Castilla en Silvania.

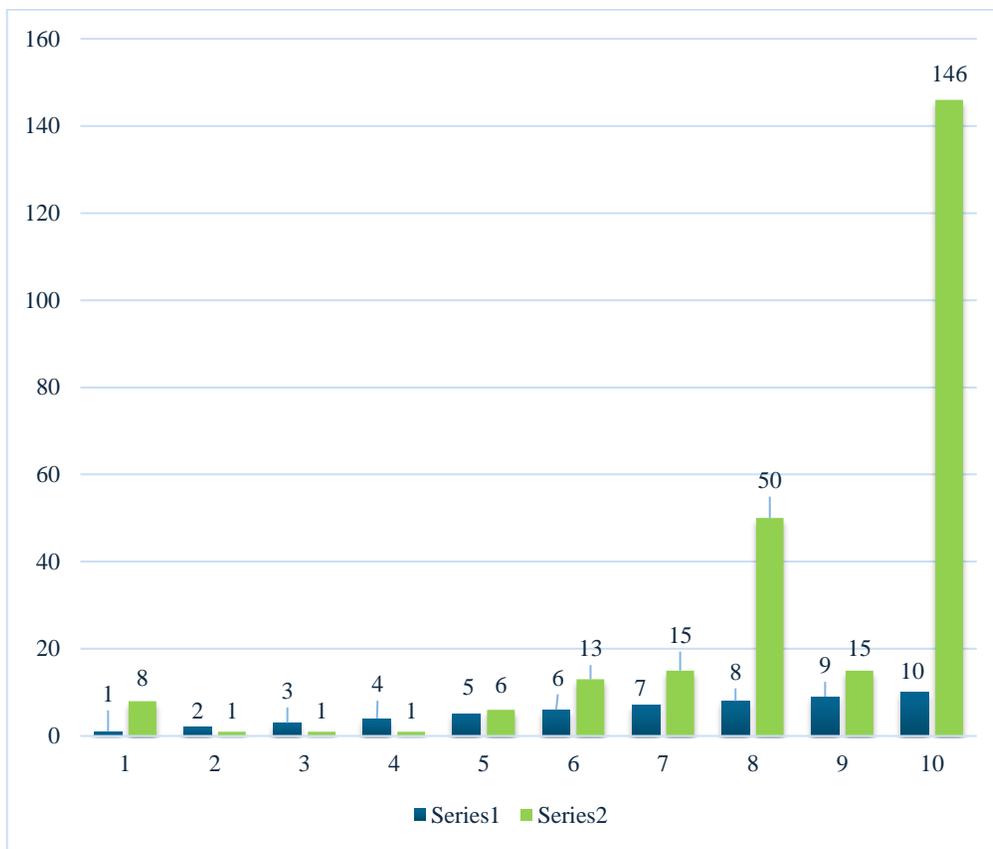


**Fuente:** Lista de chequeo, autores.

De acuerdo con las listas de chequeo el 10% de la población encuestada se encuentra en un rango de edad desde los dieciocho (18) años hasta los treinta (30) años, el 23% se encuentra en un rango de edad desde los treinta y un (31) años hasta los cuarenta (40) años, el 31% de la población y la de mayor frecuencia se encuentran en un rango de edad desde los cuarenta y un (41) años hasta los cincuenta (50) años, el 18% de la muestra se encuentra en un rango de edad desde

los cincuenta y un (51) años hasta los sesenta (60) años, el 16% se encuentra en un rango de edad desde los sesenta y un (61) años hasta los setenta (70) años y finalmente el 3% de la población rural dedicada a la producción de mora de castilla en Silvania se encuentra en edades superiores a los setenta (70) años. La Figura 4. Representa la importancia de la producción de mora para la economía de las familias rurales dedicadas a la producción.

**Figura 4.** Importancia del Cultivo de Mora para los Productores.



**Fuente:** Lista de chequeo, autores.

Para la medición de la importancia económica del cultivo de mora para la economía de las familias se suministró una escala de calificación en donde uno (1) representa menos importante con el 10%, dos (2) el 20%, tres (3) el 30%, cuatro (4) el 40%, cinco (5) el 50%, seis (6) el 60%, siete (7) el 70%, ocho (8) el 80%, nueve (9) el 90% y diez (10) el 100% de importancia.

Encontrando que para el 62% de la población incluida en las listas de chequeo, el cultivo de mora es una actividad fundamental para la economía de la familia, encontrándose un porcentaje de

importancia de entre el 70% al 100%, distribuidos de la siguiente manera: para el 18% de la población de la muestra el cultivo de mora tiene el 100% de importancia para la economía de la familia, para el 16% de la población el cultivo de mora tiene una importancia del 90% para la economía de la familia, para el 15% de la población el cultivo de mora tiene el 80% de importancia para la economía de la familia.

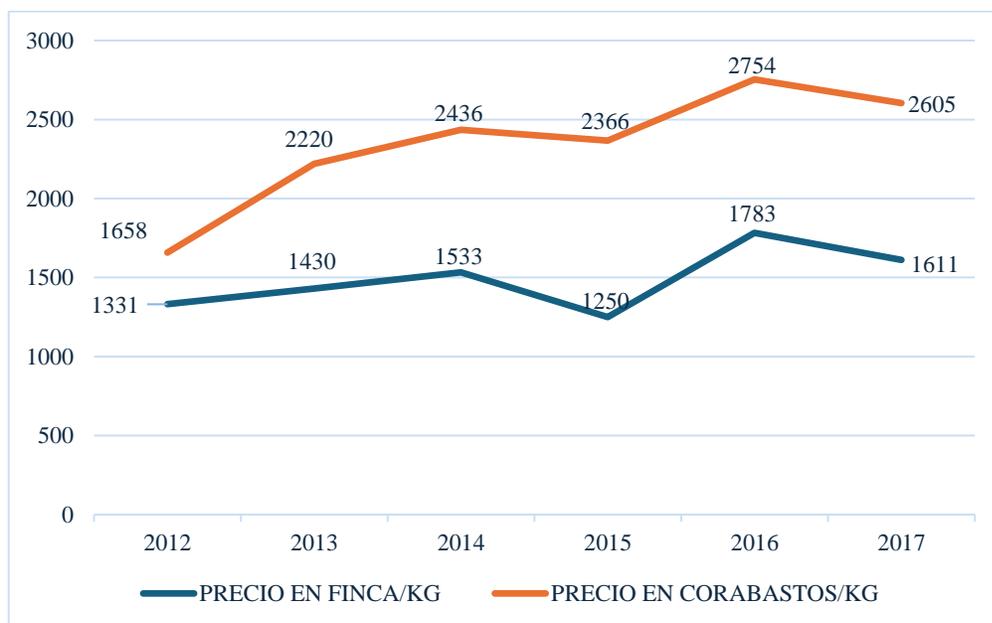
Para el 48% restante de la población de la muestra el cultivo tiene menor importancia para la economía de la familia productora de mora ya que realizan actividades

complementarias, siendo el porcentaje de importancia de entre el 10% al 60%. Distribuidos de la siguiente manera: para el 2% de la población el cultivo de mora tiene el 10% de importancia para la economía de la familia, para el 4% de la población el cultivo de mora tiene 20% de importancia para la economía de la familia, para el 5% de la población tiene el 30% de importancia para la economía de la familia, para el 7% de la población el cultivo de mora tiene el 40% de importancia para la economía de la familia, para el 9% de la

población el cultivo de mora tiene el 50% de importancia para la economía de la familia y para el 11% de la población el cultivo de mora tiene el 60% de importancia para la economía de la familia.

En este eslabón donde el intermediario tiene el 91% de la intervención en el proceso de comercialización de la mora en fresco, es el actor que se queda con un porcentaje amplio de utilidad como se registra en la Figura 5.

**Figura 5.** Histórico de precio/kg de Mora Pagado en Finca Vrs Histórico de precio/kg de Mora en Corabastos.



**Fuente:** Listas de chequeo, autores.

Según los datos históricos de las EVAS (2017), existe gran diferencia entre los precios de la mora pagados al productor en finca y los precios reportados por la central de abastos, por ejemplo para el año 2017 el precio promedio pagado al productor en finca fue de \$1.611 y el precio promedio registrada en corabastos fue de \$2.605

con una diferencia de \$994 promedio; teniendo en cuenta que la producción promedio para el municipio de Silvania para el año 2017 fue de 5.740ton/año (teniendo en cuenta que el valor corresponde a 5.740.000kg/año), es decir, los productores están dejando de percibir \$5.705.560.000 anualmente por la

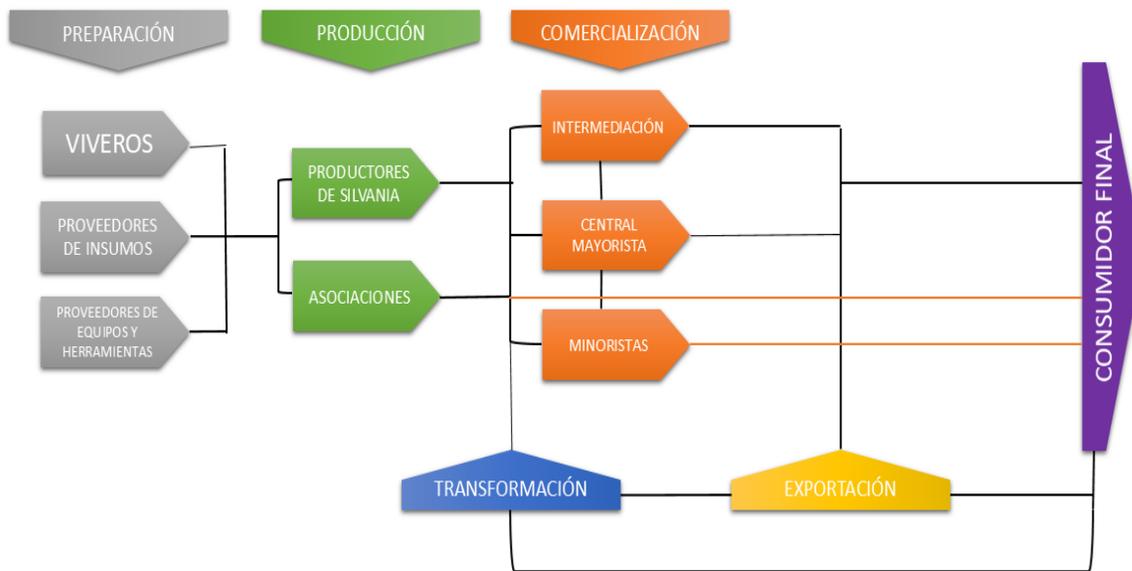
ineficiencia de los canales de comercialización de la mora, así mismo se percibe que este dinero lo está captando la intermediación. De acuerdo con Buitrago & Pinzón, se proponen tres (3) casos o modelos de distribución o comercialización de la mora:

El primer caso (mora en fresco) sería Producción-Intermediación-Mayorista-Minorista-cliente final, en este modelo se ubica el 91% de los productores de mora del municipio, es decir, que los procesos de comercialización de mora se rigen en un 91% por este modelo de comercialización. El segundo caso (mora en fresco) sería Producción-Mayorista-Minorista-Cliente final, según las listas de chequeo el 5% de los productores se encuentran bajo este modelo. El tercer caso (se genera valor agregado) sería Producción-Transformación-Cliente final, a este modelo corresponden las asociaciones ya

mencionadas que son el 4% de los productores. El cuarto caso (se genera valor agregado) sería Producción-Intermediación-Mayorista-Transformación-Cliente final, este modelo es el caso de las grandes industrias de transformación de frutas a productos como jugos, mermeladas, entre otros. (Buitrago & Pinzón 2017),

Para la realización del diseño de cadena de valor propuesto, se incluyeron cada uno de los eslabones identificados en el diagnóstico del documento (preparación, producción, comercialización, transformación, exportación y consumidor final), en el cual se puede observar la ruta de distribución y comercialización, comúnmente utilizada por los productores de mora de castilla del municipio de Sylvania y los procesos que generan valor agregado en el producto. Figura 6.

**Figura 6.** Diseño de la Estructura de la Cadena de Valor de la Mora de Castilla "*Rugus glaucus benth*", en el Municipio de Sylvania Cundinamarca.



Fuente: Autores.

El canal de distribución utilizada con mayor frecuencia por los productores es la que incluye mayor cantidad de actores (proveedores de agroinsumos, herramientas, viveros, productores individuales, intermediarios, central mayorista, minoristas y/o transformación, exportación y por último el consumidor final), lo que ocasiona que cada actor debe quedarse con un margen de utilidad con referencia al precio pagado por el consumidor final, en este sistema de comercialización se encuentra el 91% de productores del municipio.

Teniendo en cuenta que con un rendimiento de 10 ton/ha y con costos de sostenimiento del cultivo de \$11.200.000 anuales según (EVAS 2017), la utilidad bruta anual es de \$4.800.000 Tabla 2. es decir, que los ingresos mensuales de un productor de mora por hectárea son \$400.000 considerando que para el 62% de los productores estima que el cultivo de mora tiene una importancia de entre el 70% y el 100%, se percibe que la calidad de vida de un productor de mora es inferior a la de una persona que gana un salario mínimo en Colombia (\$737.717 valor para el año 2017).

**Tabla 2.** Costos de Producción y Utilidad Bruta de la Mora de Castilla en el Municipio de Sylvania.

<b>RESUMEN</b>		
<b>1. RENDIMIENTO (t / ha)</b>		<b>10,0</b>
<b>2. COSTOS DE PRODUCCION (\$ / ha)</b>	<b>ESTABLECIMIENTO</b>	<b>\$ 13.045.600</b>
	<b>SOSTENIMIENTO</b>	<b>\$ 11.200.000</b>
<b>3.PRECIO PAGADO AL PRODUCTOR (\$ / t)</b>		<b>\$ 1.600.000</b>
<b>4. INGRESO (\$ / ha) = 3*1</b>		<b>\$ 16.000.000</b>
<b>5. UTILIDAD BRUTA (\$ / ha) = 4-2</b>		<b>\$ 4.800.000</b>

**Fuente:** EVAS 2017.

El índice de beneficio/costo de la venta de mora en finca a los intermediarios fue para el año 2017 según los datos registrados en las EVAS de 1,37 siendo inferior al índice beneficio/costo de la venta de la mora en la central de Abastos en la ciudad de Bogotá para el año 2017 la cual fue de 2,22, los que nos demuestra que implementación de la cadena de valor en el municipio para la mora de castilla traerá beneficios económicos para la población rural que se verá reflejado en una mejor calidad de vida de los agricultores y menor inconformidad de su parte.

Para la elaboración del plan de modelo gerencial que se puede observar en la Tabla 3. se identificaron los riesgos de la implementación de la cadena de valor de

#### 4. CONCLUSIONES

Después del análisis completo de los datos se llega a la conclusión que los productores de mora de castilla del municipio de Silvania deben fortalecer las asociaciones existentes, ya que a pesar de que se encuentran 7 asociaciones dedicadas al cultivo de mora tan solo el 28% de la muestra representativa participa en este tipo de procesos, el 72% restante de cultivadores de mora trabajan de forma independiente, dejando de lado los beneficios de la asociatividad como son: la adquisición de productos e insumos agrícolas a un menor costo por la compra de los mismos en grandes volúmenes; logro de alianzas comerciales que lleven la mora del productor al consumidor final, también facilidad de acceso a programas y proyectos de tipo gubernamental que

la mora en el municipio de Silvania Cundinamarca, así como los participantes.

El plan estratégico se diseñó principalmente para los actores que realizan actividades primarias, para el fortalecimiento de sus actividades debido a que en este eslabón se identificaron fallas como: deficiencias en los procesos asociativos; que permite a grupos de productores acceder a insumos agrícolas a un precio favorable en cantidades considerables, adicionalmente les permite acceder con mayor facilidad a centros de acopio del municipio, ofrecer volúmenes grandes de mora en fresco, acceder a propuestas de tipo gubernamental para capital semilla, entre otros. Técnica y financiera, en el marco de fortalecimiento de cadenas de valor agroalimentarias.

aportan capital semilla para actividades de emprendimiento como la transformación, entre otros.

Este trabajo de investigación proporciona a los entes gubernamentales y a los actores involucrados en cada uno de los eslabones de la cadena identificada una herramienta valiosa para comprender su función específica dentro del sistema. Al ofrecer un marco claro y accesible, se facilita la identificación de cómo cada participante puede contribuir de manera efectiva al mejoramiento de los procesos. Además, esta herramienta no solo promueve una mayor colaboración entre los diferentes actores, sino que también fomenta un enfoque integral que potencia la eficiencia y la sostenibilidad en la cadena

de valor. En última instancia, se busca fortalecer la capacidad de cada entidad

para implementar cambios significativos que beneficien a toda la comunidad.

### LITERATURA CITADA

AGRONET. (2018). Base de Datos de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Base de datos en línea. Recuperado de: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/default.aspx>.

BARALLA, M. (2012). El Papel de la Mujer en el Sector Agropecuario en América Latina Y El Caribe. Recuperado de: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/509620/>.

Buitrago, A., & Pinzón, L. (2017). Caracterización de la Mora de Castilla en los Municipios de Fusagasugá, Silvania y San Bernardo en la Región del Sumapaz. Universidad de Cundinamarca.

Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVAS (2017). Datos Abiertos Colombia. Recuperado de: [https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/about\\_data](https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/about_data)

Iglesias, D. H. (2002). Cadenas de Valor como Estrategia: las Cadenas de Valor en el Sector Agroalimentario, p. 3. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cadenasdevalor.pdf>.

Porter, M. (1985). Ventaja Competitiva. Compañía Editorial Continental S.A de C.V. México 1994.

Tamayo, M. (2006). El proceso de la investigación científica. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El\\_proceso\\_de\\_la\\_investigacion\\_cientifica\\_Mario\\_Tamayo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso_de_la_investigacion_cientifica_Mario_Tamayo.pdf)



#### Licencia de Creative Commons

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





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](mailto:ypjimenezav@unadvirtual.edu.co)

Yecika Liliana Sánchez Peña  
Estudiante de agronomía/ UNAD

<https://orcid.org/0009-0009-4084-237X>  
[ylsanchezpen@unadvirtual.edu.co](mailto:ylsanchezpen@unadvirtual.edu.co)

Katherine Bonilla Rúa  
Estudiante de agronomía/ UNAD

<https://orcid.org/0009-0003-3578-8117>  
[kbonillar@unadvirtual.edu.co](mailto:kbonillar@unadvirtual.edu.co)

Laura Peña Triana  
Estudiante de agronomía/ UNAD

<https://orcid.org/0009-0003-4533-6464>  
[lpenatr@unadvirtual.edu.co](mailto:lpenatr@unadvirtual.edu.co)

Luis Fernando Londoño Morales  
Estudiante de Agronomía / UNAD

<https://orcid.org/0009-0000-3576-052>  
[lfondonomor@unadvirtual.edu.co](mailto:lfondonomor@unadvirtual.edu.co)

Juan Miguel Arango Astaiza  
Estudiante de Agronomía / UNAD

<https://orcid.org/0009-0002-0549-0881>  
[jmarangoa@unadvirtual.edu.co](mailto:jmarangoa@unadvirtual.edu.co)

Darío Fernando Mejía Terán  
Ingeniero Agrónomo, Docente/ UNAD  
<https://orcid.org/0000-0003-4267-0822>  
[dario.mejia@unad.edu.co](mailto: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 Mejía-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 CO<sub>2</sub> 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.

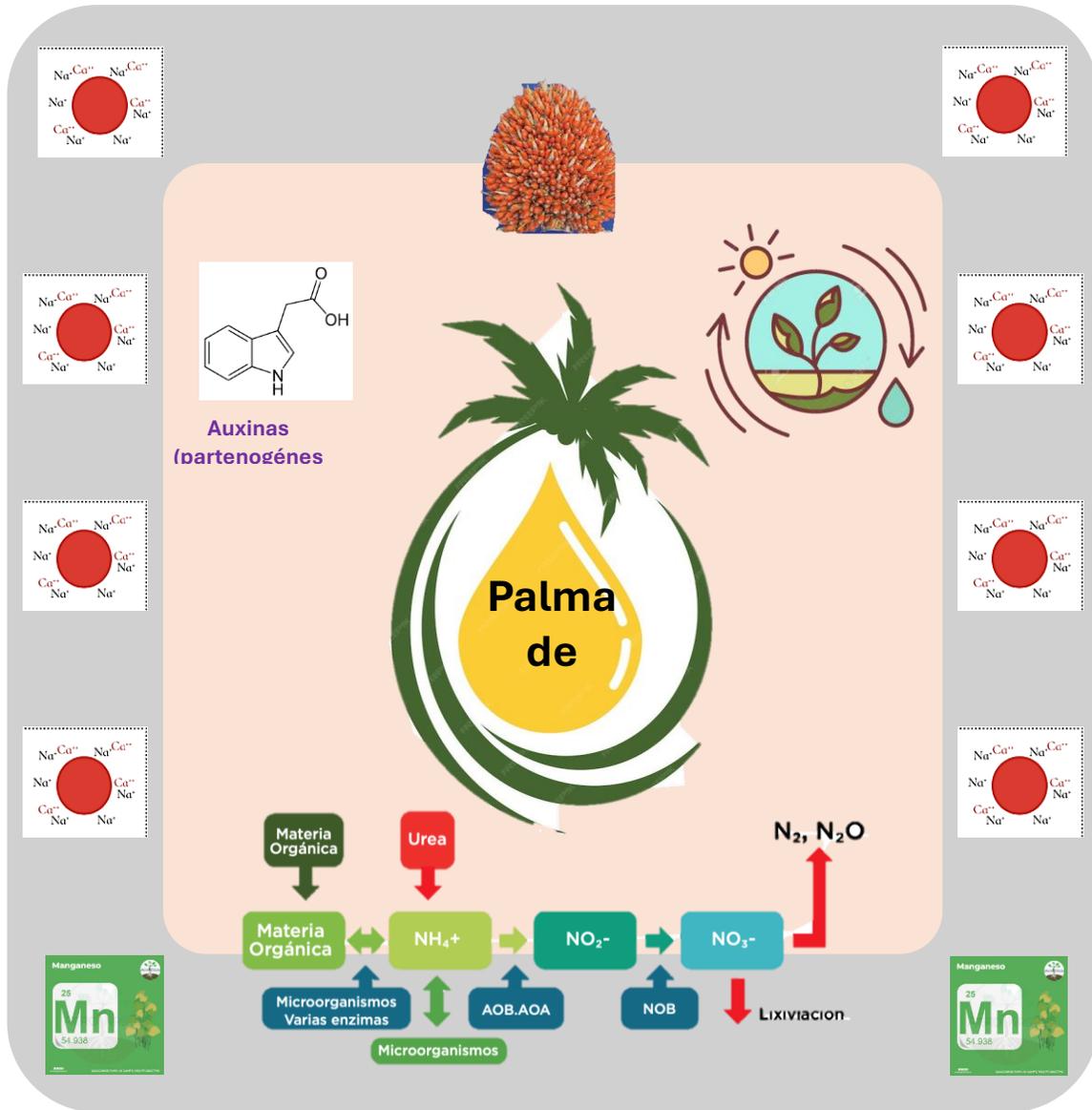
**Methodology:** The bibliographic information review methodology includes searching academic databases, selecting

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 CO<sub>2</sub> 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<sup>-1</sup>, 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 CO<sub>2</sub>, 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.

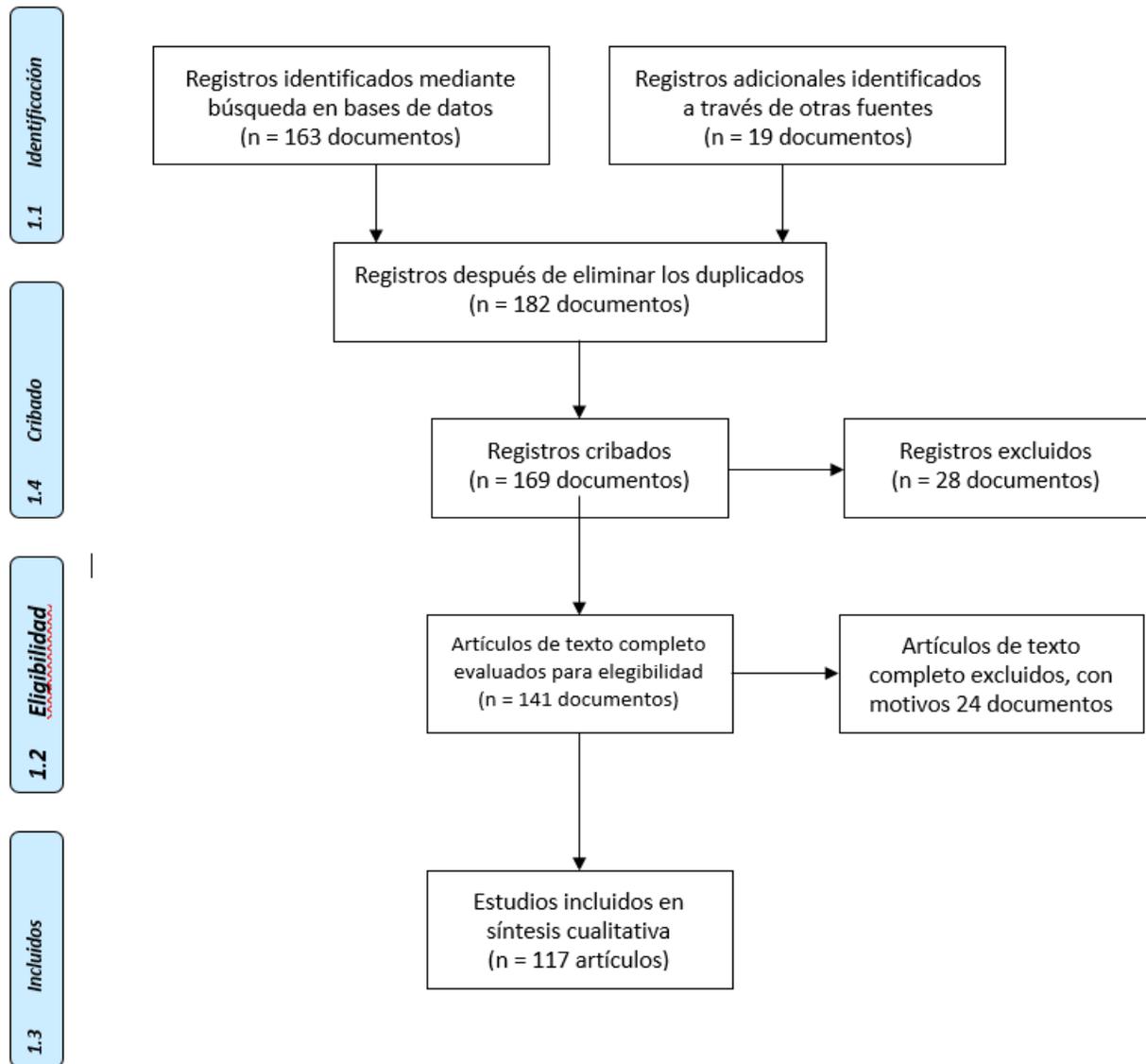
manganese; elaeis AND auxin; elaeis AND photosynthesis; elaeis AND photorrespiration; elaeis AND metabolism. Una vez realizada cada una de las búsquedas se procedió a construir un banco de documentos científicos a partir de estructuraron cinco niveles exclusión, que responden al mismo número de criterios 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 ( $\text{Na}^+$ ), el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y el sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Lamz & González, 2013).

Cuando las sales como el sodio ( $\text{Na}^+$ ) 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  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  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 ( $\text{Na}$ ) y cloro ( $\text{Cl}$ ) que limita la asimilación de nutrientes como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{Mn}^{2+}$ . Este desequilibrio conlleva a una disminución en la absorción de nutrientes esenciales como potasio ( $\text{K}^+$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Las células de las raíces se ven gravemente afectadas por las altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  que impiden la asimilación de  $\text{K}$  al haber competencia por medio de cotransportadores  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  que también interrumpen transportadores específicos de  $\text{K}$  (Zhu, 2003). El  $\text{K}$  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  $\text{K}$  en las células produce clorosis que consecuentemente puede terminar en necrosis (Freitas *et al.*, 2001 Citado por Lamz & González, 2013).

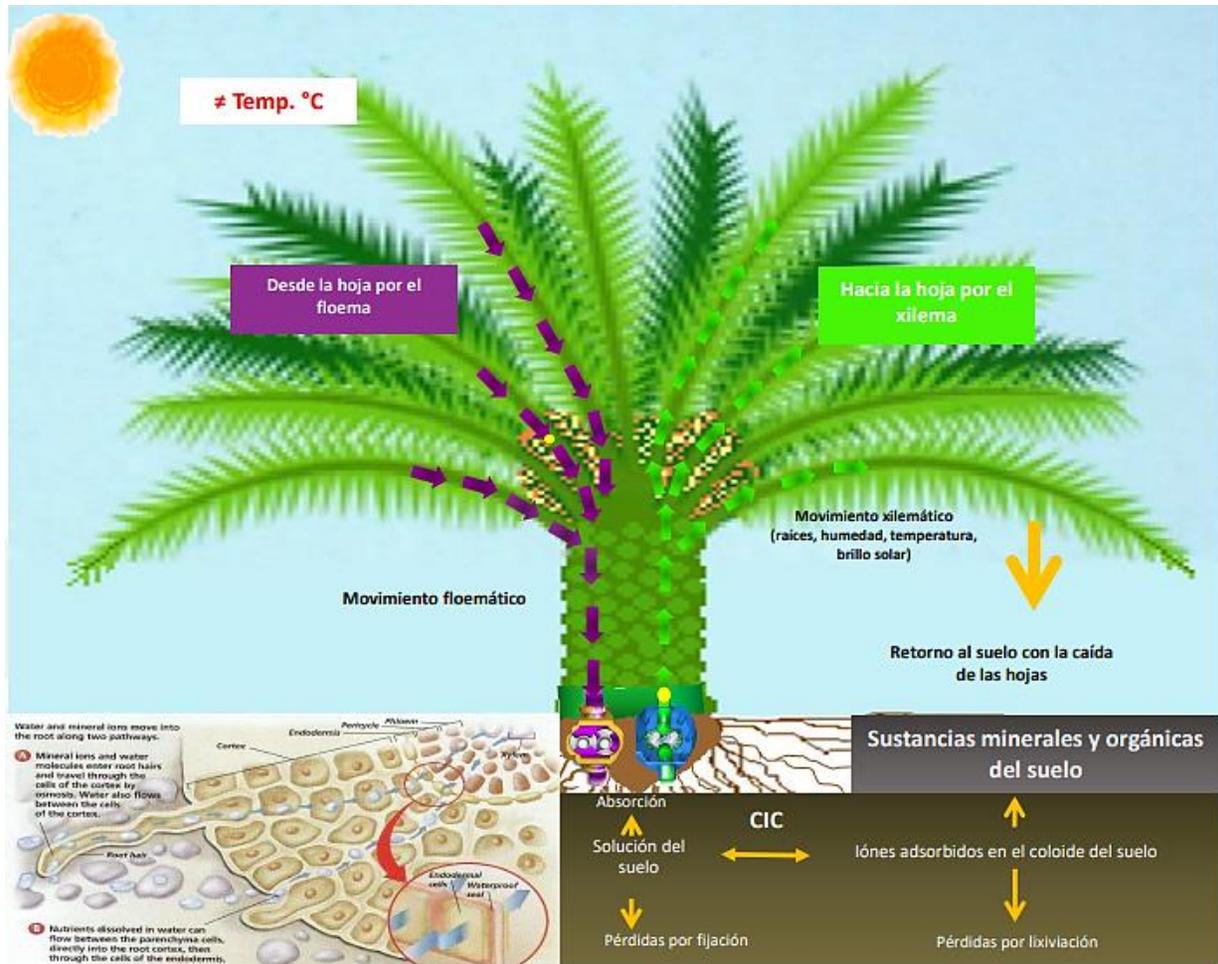
Abidin *et al.*, (2016), agregan que una alta concentración de sales en el suelo provoca una asimilación inadecuada de nutrientes, contribuyendo al desequilibrio en la turgencia celular y reducción en la expansión celular, así como la síntesis de pared celular y proteínas. De igual forma, Aleman *et al.*, (2021) destacan que la salinidad interfiere específicamente con la absorción de elementos nutricionales cruciales como el nitrógeno ( $\text{N}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). 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 ( $\text{P}$ ). El uso de micorrizas y el hongo *Talaromyces pinophilus* como microorganismos busca mejorar la absorción de  $\text{P}$  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 Ca<sup>2+</sup> (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 CO<sub>2</sub> que afecta la generación de aceptores de electrones provocando que las moléculas de O<sub>2</sub> 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
<b>Efectos Osmóticos</b>	La salinidad detiene la absorción de agua por las raíces, causando estrés hídrico.	Morales et al., 2004; Lamz & González, 2013; Vieira et al., 2020
<b>Potencial Osmótico</b>	Reducción del potencial osmótico y potencial hídrico en las plantas debido a altos contenidos de solutos en el suelo.	Lamz & González, 2013
<b>Crecimiento y Desarrollo</b>	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
<b>Balance Hídrico</b>	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
<b>Toxicidad Iónica</b>	Acumulación de sodio (Na <sup>+</sup> ), cloruro (Cl <sup>-</sup> ) y sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) provoca toxicidad y estrés oxidativo.	Lamz & González, 2013; Tester & Davenport, 2003; Zhu, 2003; Freitas et al., 2001
<b>Nutrición de las Plantas</b>	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
<b>Absorción de Nutrientes</b>	Competencia entre iones Na <sup>+</sup> y K <sup>+</sup> afecta la absorción de K, crucial para la osmorregulación y síntesis de proteínas.	Zhu, 2003; Lamz & González, 2013
<b>Metabolismo Celular</b>	Afectación en las actividades enzimáticas y procesos metabólicos como la glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación.	Mata, 2014; Bittencourt et al., 2022
<b>Fotosíntesis</b>	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

<b>Adaptación al Estrés</b>	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
<b>Efectos Fisiológicos</b>	Senescencia de hojas, reducción de potencial osmótico intracelular, y cambios en el color de las hojas.	Song et al., 2022; Vieira et al., 2020
<b>Acumulación de Sales</b>	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
<b>Respuestas Celulares</b>	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 mismos, 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  $\text{NO}_3$ , siendo malo para el buen desarrollo radicular por falta de  $\text{O}_2$  (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 2**Impacto del Desbalance de Nitrógeno (N) en la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Aspecto	Descripción	Referencias
<b>Síntomas Iniciales</b>	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
<b>Susceptibilidad</b>	Alta susceptibilidad debido a la competencia con microorganismos en el suelo por el nitrógeno disponible.	Timothy & Broschat, 2017; Muñoz et al., 1975
<b>Decoloración y Necrosis</b>	Cambio del color verde oscuro a verde amarillento y amarillo pajizo, necrosis en tejidos afectados.	Muñoz et al., 1975; Ashraf et al., 2017
<b>Importancia en la Fotosíntesis</b>	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
<b>Tasas de Fotosíntesis</b>	Disminución en las tasas de fotosíntesis, acumulación de carbohidratos y alteración en la asignación de fotoasimilados.	Dussán et al., 2016; Crespo et al., 2020
<b>Rendimiento en Frutos</b>	Disminución del número y peso de los racimos de frutos.	Cruz et al., 2020
<b>Ácidos Nucleicos y Proteínas</b>	Deficiencia causa insuficiencia de ácidos nucleicos y proteínas, afectando el crecimiento de tejidos y provocando necrosis celular.	Ikhajiagbe et al., 2022
<b>Redistribución de N</b>	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
<b>Aplicación de Fertilizantes</b>	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 acabo 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 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
<b>Síntomas Iniciales</b>	Clorosis intervenal pronunciada, necrosis en las vértices y bordes de las hojas, y copa pequeña.	Kee et al., 1995; Timothy & Broschat, 2009; Orjuela, 2019
<b>Condiciones del Suelo</b>	Suelos con pH alto, drenaje deficiente, y lixiviación que reduce el Mn disponible.	Timothy & Broschat, 2014
<b>Similitudes con Deficiencia de Fe</b>	Clorosis intervenal en nuevas hojas, donde las venas permanecen verdes mientras el tejido entre las venas se vuelve amarillo.	Timothy & Broschat, 2009
<b>Efectos en el Proceso Fotosintético</b>	Alteración en las reacciones químicas inducidas por luz, reducción de CO <sub>2</sub> , acumulación de ROS, y daño a las membranas internas de la célula.	Yepes, 2019; Viégas et al., 2023
<b>Efecto en Cloroplastos</b>	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.	
<b>Condición de "Frizzle Top"</b>	Deformación y necrosis de las hojas jóvenes, conocida como "frizzle top".	Viégas et al., 2023
<b>Impacto en Crecimiento y Raíces</b>	Inhibición del crecimiento de las raíces y lignificación apenas perceptible de los tejidos.	Orjuela, 2019; Goh & Härdter, 2012
<b>Influencia del Clima</b>	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
<b>Aplicación de Fertilizantes</b>	Uso de MnSO <sub>4</sub> 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
<b>Regulación Celular</b>	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
<b>Desarrollo de Tejidos Vegetales</b>	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
<b>Transporte y Influencia</b>	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
<b>Competencia Embriogénica y Estrés Oxidativo</b>	Participan en la adquisición de la competencia embriogénica, pero altas concentraciones pueden causar estrés oxidativo debido al aumento de ROS.	Carvalho et al., 2014
<b>Determinación del Sexo y Procesos Fisiológicos</b>	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
<b>Inducción de Partenocarpia con ANA</b>	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
<b>Aumento de Rendimiento en Polinización Artificial</b>	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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> (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 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> perturbando el ciclo de Calvin. La fotorrespiración puede ocurrir en presencia de altas concentraciones de O<sub>2</sub>, pero se minimiza mediante el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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 C<sub>3</sub>, incluyendo la palma de aceite. Destacan que este

proceso esencial se activa en condiciones de altas temperaturas, cuando la rubisco fija O<sub>2</sub> en lugar de CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> puede suplantar el tiempo de permanencia de la palma en los viveros. Es decir, dar un aumento significativo en el nivel de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> y que efectivamente puede llegar a dar buenos resultados. En condiciones elevadas de CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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
<b>Transformación de Energía</b>	Las palmas utilizan la fotosíntesis para convertir energía solar en energía química, impulsando la fijación de CO <sub>2</sub> y la formación de materia orgánica en los tejidos vegetales.	Rivera & Romero, 2017
<b>Parámetros Fotosintéticos</b>	Eficiencia fotosintética y tasa de fotosíntesis máxima son cruciales para evaluar el proceso fotosintético.	Rivera & Romero, 2017
<b>Proceso Fotosintético C3</b>	Utiliza el ciclo de Calvin-Benson para fijar CO <sub>2</sub> en forma de ácido 3-fosfoglicerilaldehído.	Boujenna <i>et al.</i> , 2022
<b>Medición de Fotosíntesis</b>	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
<b>Efectos del Estrés Abiótico</b>	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
<b>Fotorrespiración</b>	Se incrementa bajo altas temperaturas y déficit hídrico, limitando la eficiencia fotosintética al fijar O <sub>2</sub> en lugar de CO <sub>2</sub> .	Apichatmeta <i>et al.</i> , 2017; Filho <i>et al.</i> , 2021
<b>Influencia de la Densidad de Siembra</b>	Afecta la capacidad de captar luz solar y CO <sub>2</sub> , reduciendo la fotosíntesis en hojas del dosel.	Romero <i>et al.</i> , 2023; Cayón <i>et al.</i> , 2007
<b>Regulación de Equilibrio Hídrico</b>	La apertura y cierre de estomas regulan el intercambio de CO <sub>2</sub> y la transpiración, afectando la eficiencia fotosintética y el balance hídrico.	Ibrahim <i>et al.</i> , 2010; Moreno <i>et al.</i> , 2014
<b>Impacto del Estrés Salino y Desbalance de Nutrientes</b>	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

<b>Uso de Enriquecimiento con CO<sub>2</sub></b>	Mejora la fotosíntesis y reduce la fotorrespiración en plántulas, acelerando el crecimiento y producción de fotoasimilados.	Hafiz et al., 2009
<b>Regulación del Crecimiento por Auxinas</b>	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 CO<sub>2</sub> 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 pala 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](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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 <sup>13</sup>C 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](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](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](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](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](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<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> 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  $\alpha$ -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](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  $\alpha$ -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](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.



Área: agrícola

Fecha de recibido: 05-10-2024

Fecha de aceptado: 02-12-2024

DOI: 10.22490/26653176.8616

## **EFFECTO DEL ABONO ORGÁNICO BOCASHI EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) EN RÍO NEGRO, IQUIRA, HUILA**

### **EFFECT OF BOKASHI ORGANIC FERTILIZER ON CORN (*Zea mays*) PRODUCTION IN RÍO NEGRO, IQUIRA, HUILA**

Alejandra María Peña Beltrán

Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia.

Especialista en Biotecnología Agraria, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

MSc en Entornos virtuales de Aprendizaje. Universidad de Panamá.

Doctorando en Ciencias de la Educación. Universidad Cuauhtémoc, Ciudad de México.

<https://orcid.org/0000-0003-1699-919X>

[alejandra.pena@unad.edu.co](mailto:alejandra.pena@unad.edu.co)

Alexander Castro Polanco

Ingeniero Industrial, Universidad San José Bogotá D.C

Agrónomo, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Especialista en Biotecnología Agraria.

MSc en Desarrollo Rural, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Doctorando en Ciencias de la Educación. Universidad Cuauhtémoc, Ciudad de México.

<https://orcid.org/0000-0002-1450-5590>

[alexander.castro@unad.edu.co](mailto:alexander.castro@unad.edu.co)

John Kennedy Salamanca

Agrónomo, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

<https://orcid.org/0009-0003-0069-4532>

[yksalamancar@unadvirtual.edu.co](mailto:yksalamancar@unadvirtual.edu.co)

**Citaci3n:** Peña-Beltrán, A.M., Castro-Polanco, A., Salamanca, J.K. (2025). Efecto del abono orgánico bocashi en la producción de maíz (*Zea Mays*) en río Negro, Iquira, Huila. *Agricolae & Habitat*, 8(1), 63 – 83. <https://doi.org/10.22490/26653176.8616>

## RESUMEN

**Contextualización:** El maíz (*Zea mays*) es un cultivo fundamental en Colombia y en el mundo, especialmente en el corregimiento de Rionegro, Iquira, donde las comunidades indígenas dependen principalmente de fertilización tradicional y química. Sin embargo, estas prácticas han ocasionado la degradación del suelo y problemas ambientales. Como alternativa, se ha propuesto el uso de abono orgánico bocashi, que podría mejorar la calidad del suelo y reducir el impacto ambiental de los fertilizantes convencionales. Este estudio tiene como objetivo comparar el rendimiento del maíz utilizando bocashi frente a las prácticas de fertilización tradicionales y químicas.

**Vacío de conocimiento:** Aunque los fertilizantes químicos son ampliamente utilizados en la región, el uso de bocashi como fertilizante orgánico ha sido poco explorado. Esto plantea interrogantes sobre si el bocashi puede ofrecer rendimientos comparables a los fertilizantes convencionales y cómo podría contribuir a la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

**Propósito:** El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficacia del bocashi en la producción de maíz en comparación con la fertilización química y tradicional en el corregimiento de Rionegro, Iquira, Huila. Se busca determinar si esta opción es viable tanto desde el punto de vista económico como desde la perspectiva de sostenibilidad para los agricultores locales.

**Metodología:** Se realizó un experimento con un diseño de bloques completos al azar, con tres tratamientos: bocashi, fertilización química y fertilización tradicional. Cada tratamiento se replicó dos veces y se midió el rendimiento en kilogramos, longitud y diámetro de las mazorcas. Los datos fueron analizados utilizando la prueba ANOVA, complementada con la prueba de rango múltiple de Duncan para evaluar las diferencias significativas en el peso.

**Resultados y conclusiones:** El tratamiento químico resultó en el mayor rendimiento (3.27 kg/sitio), seguido por el bocashi (2.17 kg/sitio) y el método tradicional (0.67 kg/sitio). Aunque el fertilizante químico dio el mejor

rendimiento, el bocashi se mostró como una alternativa orgánica prometedora. Se concluye que el bocashi puede ser viable como método de fertilización sin afectar significativamente el rendimiento. Se recomienda continuar

investigando en diferentes condiciones.

**Palabras clave:** Agricultura sostenible; fertilización orgánica; economía rural; rendimiento agrícola; sostenibilidad ambiental

## ABSTRACT

**Contextualization:** Corn (*Zea mays*) is a fundamental crop in Colombia and worldwide, especially in the Rionegro district of Iquira, where indigenous communities primarily rely on traditional and chemical fertilization. However, these practices have led to soil degradation and environmental issues. As an alternative, the use of organic compost, bocashi, has been proposed, which could improve soil quality and reduce the environmental impact of conventional fertilizers. This study aims to compare corn yield using bocashi against traditional and chemical fertilization practices.

**Knowledge Gap:** Although chemical fertilizers are widely used in the region, the use of bocashi as an organic fertilizer has been little explored. This raises questions about whether bocashi can provide yields comparable to conventional

fertilizers and how it might contribute to long-term agricultural sustainability.

**Purpose:** The main objective of this study is to assess the effectiveness of bocashi in maize production compared to chemical and traditional fertilization in the Rionegro district of Iquira, Huila. The goal is to determine if this option is viable both economically and in terms of sustainability for local farmers.

**Methodology:** An experiment was conducted using a completely randomized block design with three treatments: bocashi, chemical fertilization, and traditional fertilization. Each treatment was replicated twice, and the yield was measured in kilograms, as well as the length and diameter of the ears of corn. The data were analyzed using the ANOVA test, complemented by Duncan's

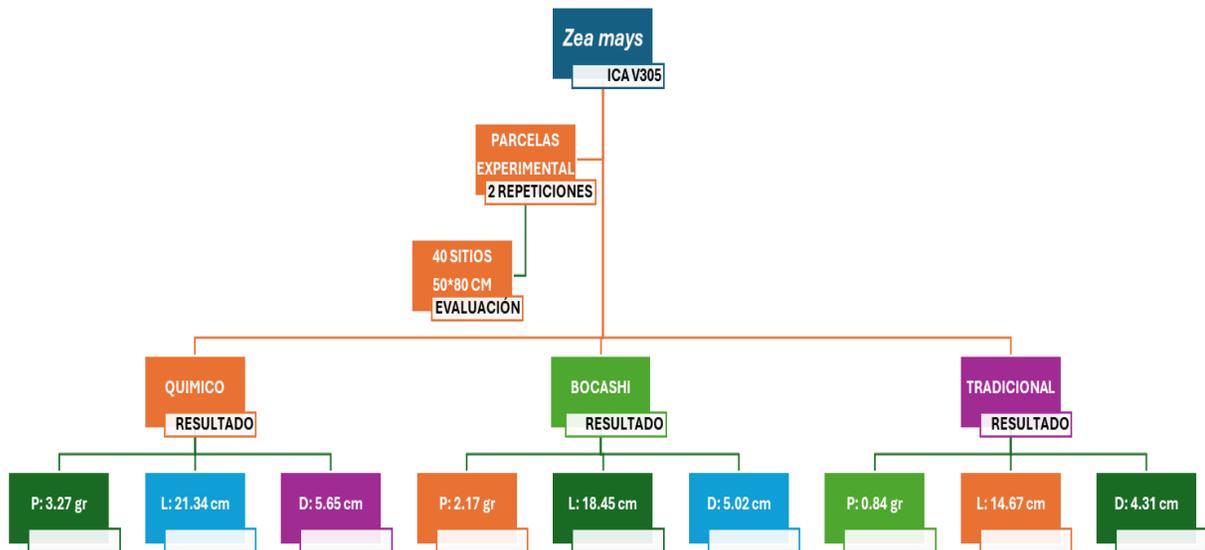
multiple range test to evaluate significant differences in weight.

**Results and Conclusions:** The chemical treatment resulted in the highest yield (3.27 kg/site), followed by bocashi (2.17 kg/site) and the traditional method (0.67 kg/site). Although the chemical fertilizer produced the highest yield, bocashi showed promise as

an organic alternative. It is concluded that bocashi can be a viable fertilization method without significantly affecting yield. It is recommended to continue research under different conditions.

**Keywords:** Sustainable agriculture; organic fertilization; rural economy; agricultural yield; environmental sustainability

### RESUMEN GRÁFICO



**Fuente:** Autores

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays*) es uno de los más extendidos a nivel mundial, especialmente en países como Estados Unidos, China y Brasil, donde la aplicación de fertilizantes químicos ha sido la principal estrategia para maximizar los rendimientos (Rojo, 2022). No obstante, en las últimas décadas, ha crecido la preocupación por los efectos negativos de los fertilizantes de síntesis química en la salud del suelo y el ambiente, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles, como el uso de abonos orgánicos. Estudios realizados en diferentes regiones del mundo, como el trabajo de Alarcón (2024), han demostrado que la incorporación de materia orgánica a través de compost y técnicas como el bocashi mejora la estructura del suelo, favoreciendo la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, demostrando que la agricultura orgánica presenta viabilidad en la mejora de producción de alimentos sin comprometer el rendimiento de los cultivos.

En América Latina, el uso de abonos orgánicos ha ganado popularidad como una solución viable para enfrentar la degradación de suelos

causada por el uso excesivo de agroquímicos. Según Moneva (2020), el uso de técnicas de fertilización orgánica, como el bocashi, ha mostrado beneficios importantes en la conservación del suelo y en la reducción de costos para los pequeños agricultores. Estos estudios destacan la importancia de adaptar estos métodos a las condiciones locales, lo que subraya la relevancia del presente trabajo en el corregimiento de Rionegro, Iquira, donde se compara la eficacia del bocashi con fertilizantes químicos y métodos tradicionales, con el fin de evaluar su viabilidad en términos de sostenibilidad agrícola y rendimiento económico.

En Colombia, aunque es un producto esencial en la dieta y economía del país, la productividad del maíz ha sido inferior comparada con otros países, en gran parte debido a la dependencia de prácticas agrícolas convencionales que han promovido la degradación del suelo. Según estudios previos, la producción de maíz en Colombia alcanzó un promedio de solo 3,6 t/ha en 2016, muy por debajo del promedio mundial de 5,4 t/ha y significativamente menor que el

promedio de Estados Unidos, donde se registraron rendimientos de 11 t/ha (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 2019). Dado que el maíz es un alimento esencial en la dieta diaria de Colombia, empleado en diversas preparaciones tradicionales, su cultivo tiene una relevancia significativa en muchas comunidades rurales. En 1994, un grupo indígena se estableció en la región de Río Negro, Íquira, con el propósito de preservar el medio ambiente y proteger el suelo, considerado parte de su patrimonio sagrado. Esta comunidad ha centrado sus esfuerzos en el cultivo de maíz como uno de sus principales productos agrícolas. Con el apoyo de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, recibieron capacitación para mejorar las prácticas agrícolas, específicamente enfocadas en la producción de maíz. Sin embargo, la implementación de estos conocimientos ha enfrentado desafíos, lo que ha llevado a un uso inadecuado de fertilizantes, con consecuencias negativas tanto ambientales como sociales y microbiológicas.

La degradación ambiental y la escasez de recursos naturales han

contribuido al mal uso de tecnologías y prácticas agrícolas. Esto ha intensificado una dependencia insostenible de productos químicos, afectando directamente la calidad del suelo, un recurso vital que sustenta la fertilidad y la absorción de nutrientes. La pérdida de esta calidad del suelo pone en riesgo la continuidad de las prácticas agrícolas sostenibles.

En este sentido, la incorporación de abonos orgánicos, como el bocashi, ha cobrado importancia como una opción viable para mejorar la productividad agrícola sin comprometer el medio ambiente. Bocashi, un abono fermentado, ha demostrado ser eficaz en mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de agua y proporcionar nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Investigaciones han señalado que, en regiones agrícolas de América Latina, la implementación de bocashi ha tenido un impacto positivo tanto en el rendimiento de cultivos como en la reducción del uso de fertilizantes químicos, los cuales suelen tener efectos negativos a largo plazo sobre la salud del suelo (Sánchez y Guacaneme, 2023).

El abono bocashi ofrece una solución atractiva no solo por sus beneficios ecológicos, sino también por su viabilidad económica para pequeños agricultores. La preparación de bocashi requiere insumos accesibles como estiércol, salvado de arroz y microorganismos locales, lo que permite reducir costos en comparación con los fertilizantes químicos comerciales. Además, el bocashi ayuda a mejorar la actividad microbiana del suelo, un factor clave en la regeneración de suelos degradados por prácticas agrícolas intensivas. En el municipio de Coper, donde la economía agrícola ha enfrentado dificultades debido a la falta de infraestructura y gestión eficiente, el uso de bocashi se presenta como una alternativa para fortalecer la

economía local y mejorar el rendimiento de cultivos como el maíz, que ha sido históricamente desatendido en comparación con otros cultivos de la región (Sánchez y Guacaneme, 2023).

El objetivo general de este estudio es evaluar el comportamiento de la producción de maíz (*Zea mays*) en el Corregimiento de Río Negro, Iquira, Huila, comparando el uso de abono orgánico bocashi con el manejo tradicional y la fertilización química. A través de esta investigación, se busca contribuir a una agricultura más sostenible en el futuro cercano, proporcionando información clave sobre los efectos de estos diferentes tipos de fertilización.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El experimento se realizó en el corregimiento de Rionegro, ubicado en el municipio de Iquira, departamento de Huila, Colombia. Las coordenadas geográficas del sitio de estudio son 2.78833° de latitud norte y -75.9625° de longitud oeste. Esta región es característicamente montañosa,

con una combinación de valles, colinas y cañones, lo que permite una variedad de microclimas en su topografía. Las condiciones climáticas incluyen un rango de temperatura que oscila entre 12 °C y 29 °C, con una precipitación anual de entre 1500 y 2200 mm, y una humedad relativa que varía de 73% a 76%. El suelo en esta área es franco arenoso, con buen drenaje

en temporada de lluvias y una composición de materia orgánica moderada (Alcaldía municipal de Íquira, 2014).

Estas condiciones son óptimas para el cultivo de maíz, permitiendo evaluar los efectos de diferentes métodos de fertilización en un ambiente adecuado para la especie *Zea mays*.

Este estudio, realizado en 2022, utilizó un enfoque cuantitativo para evaluar el impacto de diferentes métodos de fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz. Se recolectaron datos sobre variables medibles como el peso, la longitud y el diámetro de las mazorcas, con el objetivo de comparar los efectos de tres tratamientos.

### **Diseño Experimental**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, el cual permite controlar la variabilidad entre los bloques y garantiza que las comparaciones entre tratamientos sean válidas. El diseño factorial incluyó tres tratamientos principales, con dos réplicas cada uno, establecidos en parcelas de 4 x 6 metros. Cada réplica constaba de seis hileras y 12 surcos, con un total de 72 sitios de siembra por

réplica, manteniendo una distancia de 80 cm entre surcos y 50 cm entre plantas, donde se sembraron tres semillas en cada sitio. Con esta disposición espacial y número de plantas por sitio, la densidad de siembra es de aproximadamente 75,000 plantas por hectárea. Este diseño permite evaluar las diferencias de rendimiento entre tratamientos en condiciones homogéneas y facilita el análisis estadístico de los datos obtenidos.

### **Tratamientos**

Para este estudio, se establecieron tres tratamientos distintos con el objetivo de evaluar su impacto en el rendimiento del cultivo de maíz de la variedad ICA V305.

### **Testigo**

Cultivo sin aplicación de fertilizantes ni enmiendas, replicando el método tradicional de la zona de estudio.

### **Preparación y Aplicación del Bocashi**

El bocashi se preparó utilizando insumos orgánicos disponibles en la región, tales como tierra común, hojarasca, rastrojo picado, cascarilla de arroz, gallinaza, cal y melaza, los cuales fueron

mezclados de manera uniforme. La mezcla se colocó en un área protegida de la luz solar directa y la lluvia, asegurando condiciones de humedad adecuadas para la fermentación. Para promover la estabilidad del compost, se realizaron volteos diarios de la mezcla hasta que la temperatura descendió y alcanzó una condición estable.

La metodología consistió en ajustar la dosis de bocashi según las necesidades nutricionales de la planta a lo largo de su crecimiento.

Durante las primeras etapas de desarrollo, correspondientes a la siembra y el crecimiento juvenil, se aplicaron 30 gramos de bocashi por sitio de siembra. Esta cantidad, menor al promedio final, fue seleccionada para evitar el exceso de nutrientes en las plantas jóvenes, cuyas raíces aún están en desarrollo y no pueden asimilar grandes cantidades de fertilizante. Conforme el maíz avanzaba a las fases vegetativa y reproductiva, se incrementó la dosis a 50 gramos por sitio de siembra, siguiendo un régimen de aplicación cada 30 días. Este patrón asegura una liberación gradual de nutrientes que coincide con las mayores exigencias de la

planta en su fase de crecimiento activo.

Cada aplicación se realizó alrededor de la base de la planta, a una profundidad aproximada de 5 cm, para maximizar la absorción de los nutrientes por las raíces.

### **Fertilización Química**

Para el tratamiento químico, se realizó un análisis de suelo previo a la siembra en la parcela experimental, a través del laboratorio Tecniaálisis, especializado en la evaluación de suelos agrícolas. Este análisis permitió identificar las necesidades específicas del suelo en términos de nutrientes esenciales. Con base en los resultados obtenidos, se diseñó un plan de fertilización ajustado a las condiciones del suelo, que incluyó la aplicación de cantidades específicas de fertilizantes por hectárea, optimizando así el aporte de nutrientes necesarios para el cultivo. Las dosis de fertilización recomendadas fueron las siguientes:

- **Urea:** 155 kg/ha,
- **DAP (fosfato diamónico):** 137 kg/ha,
- **KCL (cloruro de potasio):** 6 kg/ha,
- **Boro granulado:** 30 kg/ha.

La fertilización se realizó mediante una conversión de las cantidades por hectárea al número de plantas presentes en cada sitio, garantizando una distribución uniforme del fertilizante en todas las plantas. La fertilización se realizó en tres aplicaciones: la primera durante la fase de emergencia del cultivo, la segunda antes de la floración, y la tercera en formación de mazorcas, siguiendo las recomendaciones del análisis de suelo

Todos los tratamientos se desarrollaron bajo las mismas condiciones de riego, manejo de suelo y monitoreo ambiental para reducir la variabilidad externa y atribuir los resultados exclusivamente a los tratamientos.

### **Manejo Agronómico**

Durante el ciclo de cultivo, el control de malezas se efectuó en tres ocasiones: a los 30, 50 y 70 días después de la siembra, empleando métodos manuales para evitar el uso de herbicidas y asegurar condiciones comparables entre tratamientos. El manejo fitosanitario fue mínimo, ya que no se detectaron niveles significativos de plagas o enfermedades que requirieran intervención adicional.

### **Recolección y Análisis de Datos**

Se evaluaron tres tratamientos de fertilización: químico, bocashi y método tradicional. Para esta investigación, se seleccionaron 40 sitios aleatorios en cada tratamiento. En cada sitio, se registró el peso, longitud y diámetro de las mazorcas presentes para obtener un valor promedio representativo de cada tratamiento. La recolección de datos se realizó durante la fase de cosecha, registrando el peso del maíz cosechado en cada sitio experimental. Los datos fueron procesados y analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas en el rendimiento entre los tratamientos, lo que permitió evaluar la efectividad de cada método de fertilización en términos de producción de biomasa.

Posteriormente, se realizó un análisis post hoc mediante la prueba de Tukey (Honestly Significant Difference), para identificar entre qué tratamientos se encontraban las diferencias significativas, proporcionando una comparación detallada entre las medias de los rendimientos de cada tratamiento.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó el efecto de tres tipos de fertilización en el rendimiento de maíz en términos del peso, longitud y diámetro de mazorcas. Los tratamientos incluyeron la fertilización química, el uso de bocashi (abono orgánico) y un método tradicional sin fertilización. Se tomaron muestras de 40 sitios en cada tratamiento para medir estas variables en las mazorcas, lo que proporcionó un

conjunto de datos para analizar diferencias significativas entre los tratamientos.

Los resultados del estudio indican diferencias significativas en el rendimiento del maíz (*Zea mays*) entre los tres tratamientos de fertilización evaluados, el rendimiento promedio por tratamiento se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

Resultados Finales de Pesos de Mazorcas por Tratamiento

Tratamiento	Peso Total (kg)	Peso Promedio (kg/sitio)
Químico	131.10	3.2776
Bocashi	87.12	2.1779
Tradicional	26.86	0.6715

**Fuente:** Autores

Los valores obtenidos muestran diferencias notables entre los tres tratamientos. El tratamiento químico demostró ser el más efectivo, alcanzando un peso total de 131.10 kg, lo que corresponde a un peso promedio de 3.2776 kg por sitio. En contraste, el tratamiento

tradicional, sin intervención de fertilización, mostró el menor rendimiento, con un peso total de 26.86 kg y un promedio de 0.6715 kg por sitio. El bocashi, como tratamiento orgánico, presentó un rendimiento intermedio, con un

peso total de 87.12 kg y un promedio de 2.1779 kg por sitio.

### **Análisis de Varianza (ANOVA)**

Para evaluar las diferencias entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), que reveló una diferencia estadísticamente significativa entre los tres tipos de fertilización, con un valor de  $P > F < 0.0001$ . Esto indica que las variaciones observadas en el peso de las mazorcas no son producto del azar, sino que están directamente relacionadas con el tipo de fertilización aplicado. El coeficiente de variación (CV) fue de 34.8%, lo que sugiere que, si bien hubo cierta variabilidad intrínseca en los datos, los tratamientos influyeron significativamente en el rendimiento de las mazorcas.

La prueba ANOVA muestra que el rendimiento del maíz en el tratamiento químico fue significativamente mayor que en el bocashi y el tradicional, mientras que el bocashi también presentó diferencias significativas en comparación con el método tradicional. Esto pone de manifiesto el impacto que tiene la disponibilidad de nutrientes en la

fase crítica de desarrollo del maíz, particularmente cuando se suministran de manera controlada y en cantidades adecuadas, como es el caso de los fertilizantes químicos.

### **Análisis Comparativo de los Tratamientos**

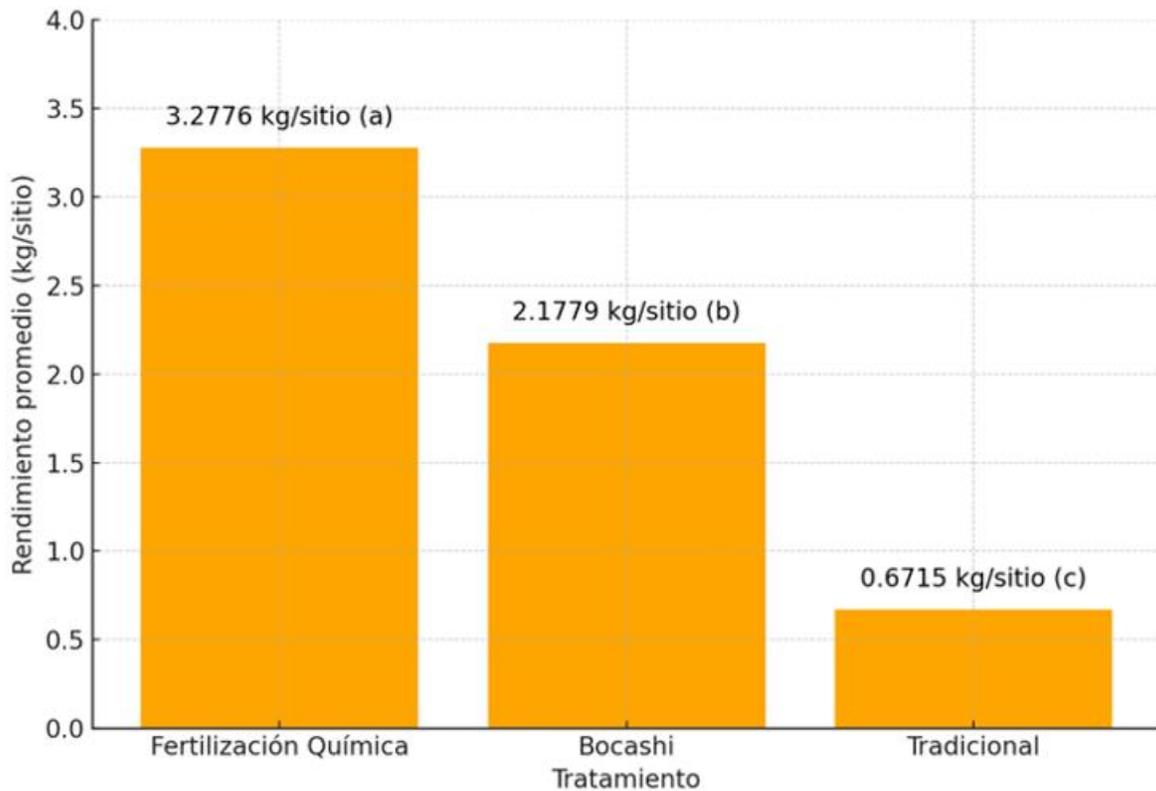
El tratamiento químico se destacó como el más eficiente, lo cual es consistente con la literatura existente sobre la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada, fosfatada y potásica. El uso de 155 kg/ha de urea, 137 kg/ha de DAP, 6 kg/ha de KCl y 30 kg/ha de boro granulado, basados en el análisis de suelo realizado por el laboratorio Tecniaanálisis, proporcionó un suministro adecuado de nutrientes durante todo el ciclo del cultivo. Estos nutrientes fueron absorbidos por las plantas de manera eficiente, favoreciendo una mayor biomasa y un mayor tamaño de mazorcas. La aplicación en las tres etapas (emergencia, floración y fructificación) garantizó que el cultivo tuviera acceso a los nutrientes en los momentos de mayor demanda fisiológica, lo que explica los rendimientos observados.

El bocashi, aunque mostró un rendimiento inferior al del fertilizante químico, superó significativamente al método tradicional. Este abono orgánico tiene la ventaja de mejorar la estructura del suelo y fomentar la actividad biológica, lo que contribuye a una liberación gradual de nutrientes. En este estudio, se aplicó bocashi inicialmente a razón de 30 gramos y, posteriormente, a 50 gramos por sitio, cada 30 días, lo que permitió mantener un suministro constante de nutrientes.

Sin embargo, debido a su naturaleza de liberación lenta, es posible que el maíz no haya podido aprovechar completamente los nutrientes durante las etapas de mayor demanda, lo que podría explicar su menor rendimiento en comparación con el fertilizante químico. A pesar de ello, el rendimiento intermedio obtenido sugiere que el bocashi es una

opción viable para quienes buscan un enfoque más sostenible en la fertilización.

El tratamiento tradicional, al no recibir ningún tipo de fertilización, presentó el menor rendimiento. Este resultado es consistente con estudios previos que demuestran que los suelos agrícolas, sin una suplementación adecuada de nutrientes, pierden su capacidad de sostener cultivos de manera eficiente. La falta de nutrientes esenciales limita el crecimiento de las plantas y, en consecuencia, reduce la productividad, como se observó en este experimento con un peso promedio de mazorcas de apenas 0.6715 kg por sitio. A continuación, se presenta la figura 1, que ilustra las diferencias en los pesos promedios de mazorcas por tratamiento, facilitando una comparación visual entre los tres métodos de fertilización:



**Figura 1.** Rendimiento de maíz por tratamiento, con diferencias significativas según prueba de Tukey.  
**Fuente:** autores

### Mediciones de Longitud y Diámetro de Mazorca

Además del peso de las mazorcas, se midieron la longitud y el diámetro en los tres tratamientos. Las mediciones se realizaron

utilizando una muestra de 40 sitios por tratamiento, al igual que en el análisis del peso. Los resultados de la longitud y el diámetro de las mazorcas se presentan en la Tabla 2 a continuación.

**Tabla 2.**

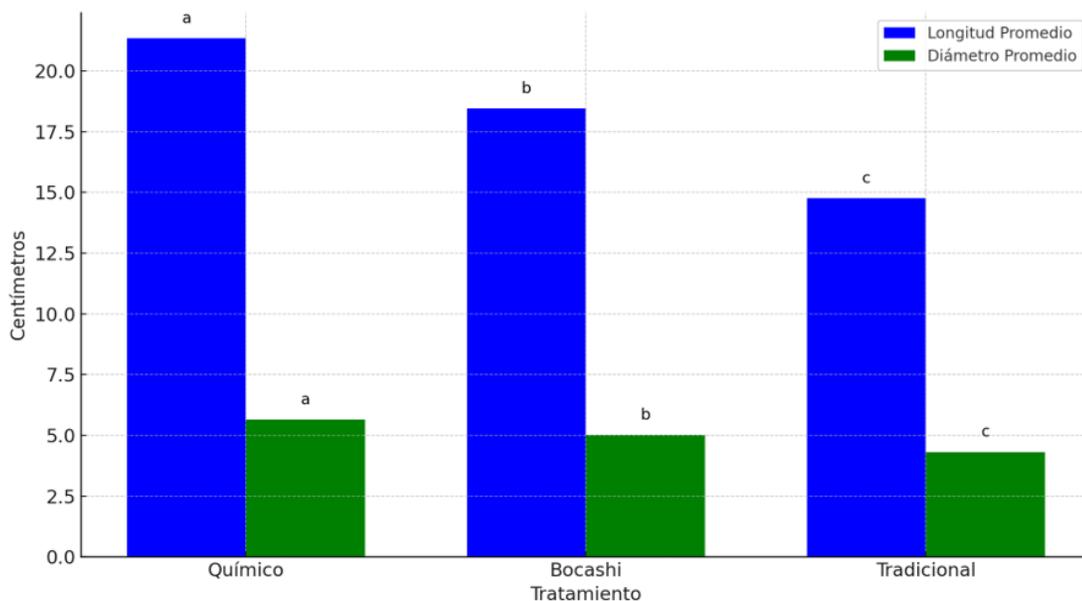
Longitud y Diámetro de Mazorcas por Tratamiento

Tratamiento	Longitud de Mazorca (cm)	Diámetro de Mazorca (cm)
Químico	21.34 ± 1.87	5.65 ± 0.43
Bocashi	18.45 ± 1.62	5.02 ± 0.39
Tradicional	14.76 ± 1.23	4.31 ± 0.32

**Fuente:** Autores

El tratamiento químico produjo las mazorcas más largas y anchas, con una longitud promedio de 21.34 cm y un diámetro de 5.65 cm. Estas dimensiones fueron significativamente mayores que las de las mazorcas obtenidas en los tratamientos de bocashi y tradicional, que presentaron longitudes promedio de 18.45 cm y

14.76 cm, y diámetros de 5.02 cm y 4.31 cm, respectivamente. Las diferencias en la longitud y el diámetro son consistentes con los resultados de peso, donde el tratamiento químico también mostró la mayor productividad, como se evidencia en la Gráfica 2 que se presenta a continuación.

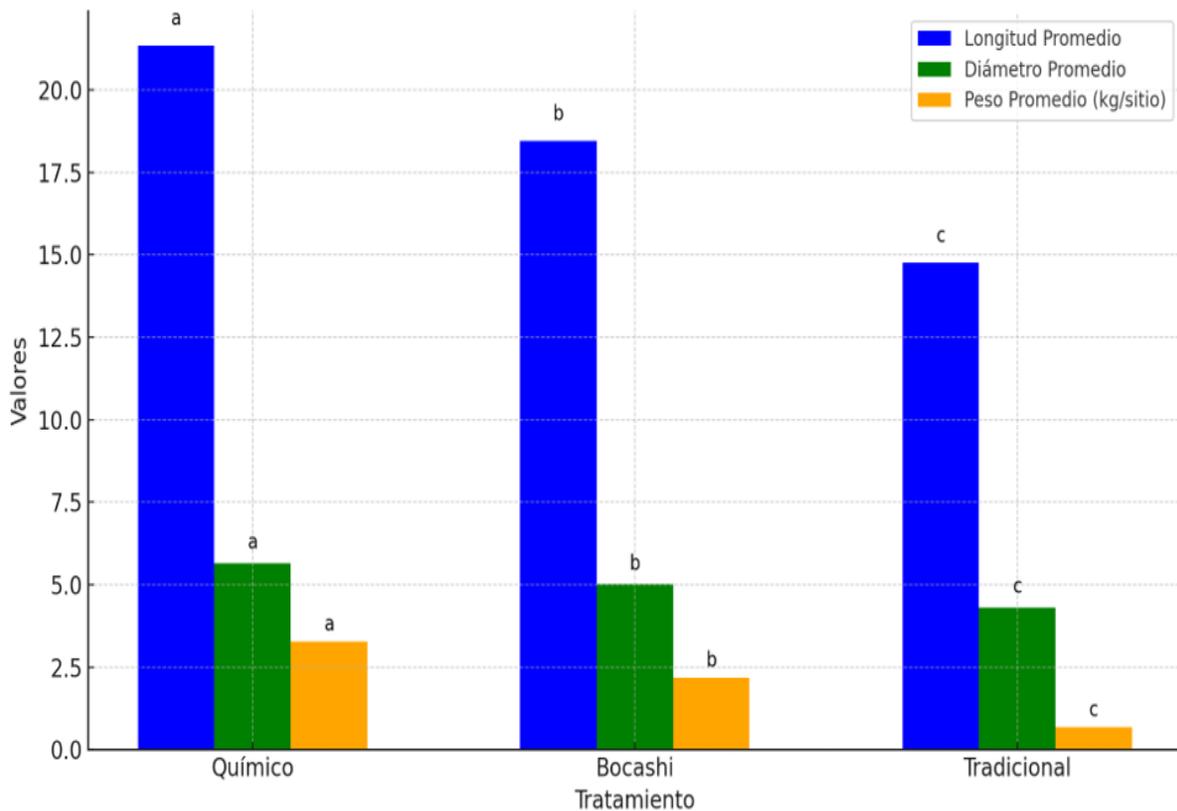


**Figura 2.** Comparación de longitud y diámetro por tratamiento (Prueba de Tukey).

**Fuente:** autores

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la efectividad de la fertilización química en la producción de maíz, mostrando un rendimiento significativamente mayor que el bocashi y el método tradicional. El uso de fertilizantes

químicos permite una absorción más rápida y eficiente de nutrientes, lo que explica el incremento en el tamaño (longitud y diámetro) y peso de las mazorcas, como se evidencia en la Gráfica 3 que se presenta a continuación.



**Figura 3.** Comparación de longitud, diámetro y peso por tratamiento (Prueba de Tukey). **Fuente:** autores

Para validar los resultados obtenidos con el análisis de varianza (ANOVA) y precisar entre qué tratamientos existían diferencias significativas, se realizó un análisis post hoc utilizando la prueba de Tukey (Honestly

Significant Difference). Esta prueba es adecuada para realizar comparaciones múltiples entre los pares de tratamientos, permitiendo identificar de manera precisa las diferencias significativas en el rendimiento medio del maíz entre

los tres tratamientos: fertilización química, bocashi y método tradicional. El objetivo de esta prueba fue determinar con mayor exactitud cuáles tratamientos presentaban diferencias

significativas en términos de peso, longitud y diámetro de las mazorcas, proporcionando una visión más detallada de la efectividad de cada método de fertilización.

**Tabla 3.**

Resultados de la prueba de Tukey

Comparación	Diferencia Media	p-Valor	Valor Crítico (VC_T)	Conclusión
Químico vs Bocashi	1.0997	<0.05	0.254	Diferencia significativa
Químico vs Tradicional	2.6061	<0.05	0.254	Diferencia significativa
Bocashi vs Tradicional	1.5064	<0.05	0.254	Diferencia significativa

**Fuente:** Autores

**Interpretación:**

**Químico vs Bocashi:** El tratamiento químico presentó un rendimiento significativamente mayor en comparación con el bocashi, con una diferencia media de 1.0997 kg por sitio.

**Químico vs Tradicional:** El tratamiento químico fue significativamente superior al método tradicional, con una diferencia media de 2.6061 kg por sitio.

**Bocashi vs Tradicional:** El bocashi mostró un rendimiento significativamente mayor que el método tradicional, con una diferencia de 1.5064 kg por sitio.

Las diferencias en la longitud y el diámetro de las mazorcas entre los tratamientos reflejan el desempeño general de cada método de fertilización. El tratamiento químico, que proporcionó la mayor disponibilidad de nutrientes durante las etapas críticas de

crecimiento, permitió que las plantas desarrollaran mazorcas de mayor tamaño, tanto en peso como en dimensiones. Este resultado es consistente con estudios previos en maíz, que destacan la importancia del nitrógeno y el fósforo en la promoción del desarrollo de las mazorcas.

Sin embargo, la dependencia de estos fertilizantes plantea desafíos ambientales, como la degradación del suelo y la posible contaminación de fuentes de agua.

En contraste, el bocashi, aunque menos efectivo en términos de rendimiento, presenta ventajas en términos de sostenibilidad. Al mejorar la calidad biológica y física del suelo, este abono orgánico contribuye a un sistema de producción más resiliente, con

menor dependencia de insumos externos. Esto lo convierte en una opción atractiva para los agricultores interesados en prácticas más sostenibles a largo plazo. Sin embargo, para obtener resultados comparables a los fertilizantes químicos, podría ser necesario aumentar la frecuencia de aplicación o combinar bocashi con pequeñas dosis de fertilizantes minerales.

El método tradicional sin fertilización, como era de esperarse, no logró generar un rendimiento adecuado. Este hallazgo destaca la importancia de la fertilización en la agricultura moderna, especialmente en suelos con un uso intensivo y que han perdido parte de su fertilidad natural.

#### **4. CONCLUSIONES**

Las conclusiones de este estudio destacan la influencia significativa de los diferentes tipos de fertilización sobre el rendimiento productivo del maíz, basado en un análisis experimental de 40 sitios para cada tratamiento. Los resultados confirman que el uso de fertilización influye directamente en

el peso, diámetro y longitud de las mazorcas, siendo el tratamiento químico el que obtuvo el mayor rendimiento promedio, seguido por el bocashi y, finalmente, el método tradicional, que mostró el menor rendimiento.

El análisis de varianza (ANOVA) seguido por la prueba de Tukey reveló diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización, subrayando la importancia de implementar estrategias adecuadas de manejo de la fertilización para maximizar la productividad agrícola. Los resultados mostraron que la aplicación de nutrientes, ya sea mediante fertilizantes químicos o abonos orgánicos como el bocashi, juega un papel crucial en el rendimiento del cultivo de maíz. La variabilidad observada entre los tratamientos destaca que el tipo de fertilización utilizada puede ser un factor determinante para optimizar la producción, proporcionando a los agricultores opciones viables y sostenibles para mejorar su desempeño agrícola.

Aunque el bocashi no alcanzó los niveles de rendimiento del tratamiento químico, demostró ser una alternativa viable, sobre todo en sistemas agrícolas que priorizan la sostenibilidad. Su uso contribuye a mejorar la calidad del suelo y a la fertilidad a largo plazo, lo que lo

convierte en una opción atractiva para agricultores que buscan reducir el uso de insumos químicos y promover una agricultura más sostenible.

Este estudio destaca la importancia de realizar un análisis de suelo previo para ajustar las estrategias de fertilización según las necesidades específicas del suelo. Las decisiones informadas basadas en estos análisis permiten maximizar la eficiencia de los insumos y mejorar los rendimientos agrícolas, reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental.

Futuras investigaciones deberían explorar la combinación de fertilizantes orgánicos y químicos para encontrar un equilibrio que optimice tanto el rendimiento como la salud del suelo, así como evaluar la rentabilidad de estas prácticas en el largo plazo. También sería relevante profundizar en el impacto de estas prácticas sobre las propiedades físicas y biológicas del suelo a fin de fomentar su sostenibilidad a largo plazo.

## CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

**John Kennedy Salamanca:** metodología, investigación, análisis de datos, borrador original. **Alejandra María Peña:** investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura. **Alexander Castro Polanco:** metodología, conceptualización, análisis de datos, revisión y edición.

## AGRADECIMIENTOS

A la comunidad indígena de Rionegro Iquira, cuya generosa disposición para participar en este estudio y compartir sus valiosas prácticas agrícolas ha sido fundamental para la validez de esta investigación, además de su compromiso con el medio ambiente, junto con su rica cultura agrícola, merece un reconocimiento especial. Asimismo, queremos extender nuestro agradecimiento al grupo de investigación INYUMACIZO, por su apoyo y colaboración.

## LITERATURA CITADA

Alarcón, D. A. (2024). Beneficios de los abonos orgánicos como alternativa para el mejoramiento de la nutrición vegetal (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024) <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16241>

Alcaldía de Íquira. (2014). Diagnóstico municipal territorial <http://www.iquira-huila.gov.co/>

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) & Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (2019). *Maíz para Colombia: Visión 2030*. CIAT y CIMMYT. <https://www.sidalc.net>

Moneva, J. (2020). Análisis y evaluación actual del abono tipo bocashi como alternativa ecológica ante los agroquímicos <http://hdl.handle.net/11000/5930>

Rojo, A. (2022). Cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y variedades comerciales en el bajío de Guanajuato <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/48894>

Sánchez, S., & Gutiérrez, J. D. (2023). Centro de investigación agrícola renaciendo el campo Coper Boyacá <https://ciencia.lasalle.edu.co/arquitectura/2432/>



**Licencia de Creative Commons**

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