

DESARROLLO DE UN ANÁLISIS PROSPECTEIVO DE LA PRODUCCIÓN DE PALMA
DE ACEITE EN EL DEPARTAMENTO DEL META, COMO ESTRATEGIA DE
SOSTENIBILIDAD



JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ ANDRADE
CRISTIAN STEVEN RUBIO ECHEVERRI



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2025

DESARROLLO DE UN ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LA PRODUCCIÓN DE PALMA DE
ACEITE EN EL DEPARTAMENTO DEL META, COMO ESTRATEGIA DE
SOSTENIBILIDAD

JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ ANDRADE
CRISTIAN STEVEN RUBIO ECHEVERRI

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Asesor

Ing. Mg. OSCAR IVÁN VARGAS PINEDA

Mg. Gestión ambiental sostenible, medio ambiente y naturaleza

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Víctor Andrés RINCÓN GONZÁLEZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Industrial

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a nuestro director de investigación Oscar Iván Vargas Pineda, por su acompañamiento y apoyo durante todo el proceso, además de ser guiados por sus comentarios acertados.

Realizamos un agradecimiento especial a nuestras familias, siendo pilar, soporte y motivo en el transcurso de nuestra vida universitaria. Con su cariño y apoyo nos han permitido ir cumpliendo cada uno de los objetivos y metas que nos hemos propuesto durante este camino, brindándonos las herramientas para culminar este proceso.

Nos permitimos realizar una mención personal a la Universidad Santo Tomás, Facultad de ingeniería industrial y los docentes, han sido importantes para nuestro desarrollo como profesionales.

Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros y amigos los cuales han puesto su granito de arena en cada uno de nuestros trabajos y horas de ocio.

Contenido

	Pág.
1. Resumen	9
2. Abstract	10
3. Planteamiento del problema	11
4. Hipótesis o pregunta de investigación.....	13
5. Alcance o delimitación	14
6. Justificación.....	15
7. Objetivos	17
7.1. Objetivo General.....	17
7.2. Objetivos específicos	17
8. Marco Referencial	18
8.1. Estudios sobre el uso de técnicas predictivas para la producción de Palma de Aceite.	18
8.2. Factores ambientales y agronómicos en la producción de Palma de Aceite.....	19
8.3. Análisis prospectivo del sector de Palma de Aceite	20
8.4. Sostenibilidad y prácticas de manejo en la producción de Palma de Aceite	21
8.5. Impacto socioeconómico de la producción de Palma de Aceite.....	22
9. Marco Metodológico	23
9.1. Tipo de Investigación.....	23
9.2. Población.....	23
9.3. Área de Investigación	24
9.4. Técnicas	25
9.4.1 Método MICMAC	25
9.4.2 Método MACTOR.....	26
9.4.3 Método de Regresión Lineal Simple.....	26
9.5. Análisis de Datos	28
9.5.1 MICMAC & MACTOR.....	28
9.5.2 Método Regresión Lineal Simple	28
10. Resultados y Discusiones.....	29

10.1.	Análisis de producción histórica desde 2007 al 2023	29
10.1.1	Colombia.....	29
10.1.2	Meta	32
10.2.	Identificación de factores de dependencia e influencia de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta.....	40
10.2.1	Método MICMAC	40
10.2.2	Método MACTOR.....	43
10.3.	Determinación de los escenarios potenciales de desarrollo a futuro de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta	46
10.4.	Limitaciones.....	51
11.	Conclusiones	52
12.	Recomendaciones	53
13.	Referencias bibliográficas.....	54

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Aplicación Método MICMAC - Factores y Variables Palma de Aceite	40
Tabla 2 Aplicación Método MACTOR - Actores de Influencia en Palma de Aceite.....	44
Tabla 3 Predicción de Producción Anual de Palma de Aceite (2024-2033).....	47
Tabla 4 Predicción de Área Sembrada de Palma de Aceite (2024-2033).....	49
Tabla 5 Predicción de Área Cosechada de Palma de Aceite (2024-2033)	50

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa Colombia - Meta.....	24
Figura 2. Mapa de Concepto Método MICMAC.....	25
Figura 3. Síntesis de Etapas Método MACTOR.....	26
Figura 4. Síntesis de pasos Método de Regresión Lineal Simple.....	27
Figura 5. Producción de Palma de Aceite en Colombia (2007 - 2023) por Ciclos Económicos..	29
Figura 6. Producción de Palma de Aceite por Departamento - Año 2023.....	30
Figura 7. Rendimiento Promedio de Palma de Aceite por Departamento - Año 2023.....	30
Figura 8. Área Sembrada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Departamentos.....	31
Figura 9. Área Cosechada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Departamentos	32
Figura 10. Producción de Palma de Aceite en Municipios del Meta (2007 - 2023) por Ciclos Económicos.....	33
Figura 11. Mapa de Frontera Agrícola de Palma de Aceite en el Meta.....	34
Figura 12. Producción de Palma de Aceite en los Municipios del Meta - Año 2023.....	35
Figura 13. Mapa Textura de Suelo Departamento del Meta.....	36
Figura 14. Rendimiento Promedio de Palma de Aceite en los Municipios del Meta - Año 2023	36
Figura 15. Área Sembrada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Municipios del Meta	37
Figura 16. Área Cosechada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Municipios del Meta	38
Figura 17. Evolución de la Producción y Rendimiento Promedio de Palma de Aceite en el Meta (2007 - 2023).....	39
Figura 18. Plano de Influencias y Dependencias entre Variables.....	41
Figura 19. Plano de Influencias Directas entre Variables.....	42
Figura 20. Plano de Influencias y Dependencias entre Actores	45
Figura 21. Predicción de Producción Anual para el Departamento del Meta.....	46
Figura 22. Predicción de Área Sembrada Anual para el Departamento del Meta	48
Figura 23. Predicción de Área Cosechada Anual para el Departamento del Meta.....	49

1. Resumen

El cultivo de palma de aceite se ha posicionado como uno de los más relevantes a nivel mundial, con importantes implicaciones económicas, sociales y ambientales, especialmente en regiones como el departamento del Meta, Colombia. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un análisis prospectivo de la producción de palma de aceite en dicho territorio, con el propósito de contribuir a la sostenibilidad del sector.

Para ello, se utilizaron métodos prospectivos como MICMAC y MACTOR, con los cuales se identificaron las variables más influyentes y los actores estratégicos del sistema productivo, así como el método de Regresión Lineal Simple para proyectar a diez años la producción, el área sembrada y el área cosechada. Se trabajó a partir de datos históricos comprendidos entre 2007 y 2023, proporcionados por la UPRA, complementados con análisis del contexto territorial, aspectos agroambientales, estudios previos e información técnica del sector palmero.

El análisis estadístico mostró un R^2 de 0,917 para la producción proyectada y 0,906 para el área cosechada, ambos con excelente ajuste y alta confiabilidad. En cambio, la proyección del área sembrada presentó un R^2 de 0,534, indicando mayor variabilidad y menor precisión. Se identificaron variables clave como la inversión en infraestructura, las políticas de sostenibilidad y la tecnificación del cultivo, con los gremios, el Estado y los productores como actores más influyentes. Estos resultados proporcionan una base sólida para formular escenarios futuros y estrategias de desarrollo en el Meta.

En conclusión, este estudio prospectivo ofrece una visión integral de los escenarios para la producción de palma de aceite en el Meta. Factores como la inversión en infraestructura, políticas de sostenibilidad y tecnificación son clave. Se requiere un enfoque equilibrado que combine crecimiento económico con sostenibilidad ambiental y social, especialmente en la expansión del área cultivada y prácticas sostenibles

Palabras Clave: Palma de Aceite, Análisis Prospectivo, Sostenibilidad, Producción Agrícola, MICMAC, MACTOR.

2. Abstract

Oil palm cultivation has become one of the most relevant globally, with significant economic, social, and environmental implications, especially in regions such as the department of Meta, Colombia. In this context, the present research aimed to develop a prospective analysis of oil palm production in this territory, in order to contribute to the sustainability of the sector.

To achieve this, prospective methods such as MICMAC and MACTOR were applied to identify the most influential variables and strategic actors within the productive system, as well as the Simple Linear Regression method to project production, planted area, and harvested area over a ten-year period. The analysis was based on historical data from 2007 to 2023 provided by UPRA, complemented by territorial context analysis, agro-environmental aspects, previous studies, and technical information from the oil palm sector.

The statistical analysis showed an R^2 of 0.917 for the projected production and 0.906 for the harvested area, both with excellent fit and high reliability. In contrast, the projection of the planted area presented an R^2 of 0.534, indicating greater variability and lower precision. Key variables such as investment in infrastructure, sustainability policies, and crop technification were identified, with industry associations, the State, and producers as the most influential actors. These results provide a solid foundation for formulating future scenarios and development strategies in Meta.

In conclusion, this prospective study offers a comprehensive view of the scenarios for palm oil production in Meta. Factors such as investment in infrastructure, sustainability policies, and technification are key. A balanced approach that combines economic growth with environmental and social sustainability is required, especially in the expansion of the cultivated area and sustainable practices.

Key Word: Oil Palm, Foresight Analysis, Sustainability, Agricultural Production, MICMAC, MACTOR.

3. Planteamiento del problema

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es destacado como cultivo oleaginoso, siendo el de mayor relevancia a nivel mundial, cerca del 40% de aceite vegetal que es comercializado a nivel internacional es abarcado por este. Siendo este aceite un componente fundamental en la dieta de más de tres mil millones de personas, sobre todo en Asia (Murphy et al., 2021). Se cultiva principalmente en los climas tropicales de América Latina, Asia y África, siendo comercializada a nivel mundial de una manera prolongada. Con un distinguido rendimiento de aceite vegetal por hectárea, la palma de aceite se ha situado como el cultivo más eficiente en este aspecto. Esta capacidad ha llevado a su masivo uso en múltiples industrias: desde la producción de biocombustibles y el consumo humano, hasta ser empleado como un ingrediente clave en productos farmacéuticos, aplicaciones industriales, y una amplia variedad de alimentos procesados (Qaim et al., 2020).

La expansión del cultivo de palma de aceite ha promovido mejoras en la electrificación, un incremento en el uso de combustibles modernos para cocinar, del mismo modo la creación de nuevos centros educativos, mercados, lugares de culto y clínicas de salud. Esta consolidación en la infraestructura económica y social ha permitido mayores rendimientos a largo plazo, ayudando a una integración más intensa en los mercados y potenciando el desarrollo regional (Edwards, 2019).

Sin embargo, la siembra de palma de aceite en América presenta factores adversos, siendo la pudrición del cogollo (PC) el trastorno patológico más desafiante para este cultivo, es causada por organismos vivos, altamente amenazante para la producción (Saavedra Mera, 2021). La PC se ha presenciado en Surinam, Ecuador, Brasil, Panamá y Colombia, dejando pérdidas del 46% de ingresos para estas regiones (Saavedra-Mera et al., 2022). Se ha combatido con fungicidas y biofertilizantes, generando una sobre exposición, la cual ocasiona efectos nocivos en la salud y el medio ambiente (Álvarez Canelo, 2023). Los climas tropicales y templados, son comunes en Colombia, facilitando la propagación del hongo que causa la PC por la presencia de humedad (Cifuentes Alarcón, 2022) el exceso de agua y humedad causa estrés en la palma reduciendo sus posibilidades de recuperación.

Es importante tener conocimiento de técnicas poco impactantes para el ecosistema como el control biológico. En Indonesia la palma de aceite ha estado bajo la invasión de gusanos canasta,

orugas urticantes y polillas. Lo que puede llevar a una defoliación en el extenso cultivo, causando pérdidas en el rendimiento de más del 40% durante el primer y segundo año (Priwiratama et al., 2019). El control de estos problemas sobre la palma de aceite podría dar paso a la expansión guiada por modelos de predicción, que tengan en cuenta factores socioeconómicos como el acceso, el costo de la tierra y factores ambientales como la deforestación, huella hídrica e impacto en la biodiversidad. Como menciona Pardo & Ocampo-Peñuela (2019) algunas proyecciones proponen que la palma de aceite tendrá mayor expansión en las pasturas de los llanos orientales, sin embargo, dichos modelos de expansión no han podido predecir las áreas exactas por los factores socioeconómicos y ambientales mencionados anteriormente.

El estudio de la palma de aceite en el departamento del Meta presenta una gran oportunidad, la continua inversión que se está dando para cultivar, sembrar y producir, enfocado en la sostenibilidad y minimización del impacto social y ambiental. En el Meta se aprobó un financiamiento de \$55.221 millones de pesos para el 2023, siendo el cuarto departamento con mayor asignación de recursos por parte de Finagro (Fedepalma, 2024). Además, el sector productivo de la palma de aceite generó 64.622 empleos directos e indirectos en el 2021 (Fedepalma, 2021) siendo este cultivo el sustento para miles de habitantes de la región.

4. Hipótesis o pregunta de investigación

En el departamento del Meta, la producción de la palma de aceite se enfrenta a diferentes desafíos como lo son la presencia de enfermedades en los cultivos, factores ambientales y socioeconómicos. Dado al crecimiento continuo de la demanda de palma de aceite en el departamento del Meta, es importante determinar la capacidad de generación de ambientes óptimos, que produzcan y aumenten el desarrollo sostenible de este cultivo. En este marco, se generó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los escenarios potenciales para la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta a partir del 2024-2033, considerando los aspectos de mayor relevancia para el sector hacia el futuro? Esta se formuló no solo con el fin de conocer las dinámicas de producción históricas y actuales, sino también generar proyecciones que brinden ayuda en el manejo de las políticas y prácticas sostenibles, aportando de esta manera en el desarrollo ambiental y económico de la región.

5. Alcance o delimitación

La presente investigación se enfocó en el análisis prospectivo de la producción de palma de aceite en el departamento del Meta, Colombia. Teniendo en cuenta las variables cuantitativas de área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento basados en una trazabilidad de datos desde el 2007 hasta el 2023, base de datos proporcionados por la EVA de la UPRA. Además, se tuvo en cuenta factores socioeconómicos y ambientales que afectan la región. Desde el inicio de la investigación hasta la fecha, hubo una duración de un año (segundo semestre 2024 – primer semestre 2025), en el cual se manejaron técnicas de recolección de datos a la muestra de la población objetivo como lo fueron: investigaciones dirigidas a empresas del sector de la palma de aceite, resultados obtenidos por entes gubernamentales en el departamento del Meta relacionado a las variables de estudio.

6. Justificación

En este trabajo de grado, se desarrolló un análisis prospectivo de la producción de la palma de aceite en el departamento del Meta, como estrategia de sostenibilidad. Siendo fundamentada por dos dimensiones distintas: teórica y práctica.

En Colombia, la palma de aceite se ha convertido en un factor económico importante, siendo posicionado el país como el mayor productor en América y cuarto a nivel mundial, alcanzando una producción total de 1.84 millones de toneladas en 2023 presentando una variación positiva del 4.1% frente al año 2022 (Fedepalma, 2023). El crecimiento progresivo del cultivo de la palma de aceite ha creado preocupación sobre el impacto ambiental y social. Sin embargo, se menciona que este impacto ambiental y social puede ser reducido al aumentar el rendimiento del cultivo de la palma de aceite por medio de la investigación de prácticas que fomenten el desarrollo sostenible (Qaim et al., 2020). Por ende, este proyecto brinda predicciones que integren el equilibrio entre producción y sostenibilidad, minimizando en medida el impacto ambiental.

La practicidad de los resultados de este estudio es de utilidad para productores locales, autoridades gubernamentales y entes no gubernamentales que busquen promover las prácticas sostenibles, de modo que estas medidas de gestión pueden prevenir o reducir pérdidas de algunas funciones del ecosistema reduciendo el cambio climático (Murphy et al., 2021). Además, se ha proporcionado información valiosa orientada hacia los actores del sector, permitiendo ser empleada para anticipar las alteraciones en el mercado y cambios en el clima, mitigando riesgos. Dónde modelos econométricos, incorporando aspectos políticos y subsidios gubernamentales pronosticó 650.000 ha de plantaciones de palma de aceite para el 2020 (Castiblanco et al., 2013), teniendo una buena precisión en el 2020 habían 651.326 ha de área sembrada según datos de la UPRA.

La viabilidad de este estudio prospectivo se fundamentó en los datos históricos disponibles sobre la producción de palma de aceite en el Meta, desde el año 2007 hasta 2023. Durante el transcurso de este tiempo se ha aumentado el uso de la biomasa como agente energético. Incrementando el valor de los distintos usos de la palma de aceite, el uso energético de este producto tiene el potencial de biopoder equivalente al 0,4% - 1,1% de la demanda eléctrica nacional, permitiendo reducir hasta un 2,1% las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia (Barrera Hernandez et al., 2024). Con estos soportes prácticos y teóricos se ha

justificado el desarrollo del proyecto de investigación sobre la producción de palma de aceite en el Meta.

7. Objetivos

7.1. Objetivo General

Desarrollar un análisis prospectivo de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta, como estrategia de sostenibilidad.

7.2. Objetivos específicos

- Analizar la producción histórica de Palma de Aceite en el departamento del Meta a partir de sus variables área sembrada, producción y rendimiento del 2007 al 2023.
- Identificar los factores de dependencia e influencia de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta a partir del método MICMAC y MACTOR.
- Determinar el escenario potencial de desarrollo productivo del sector de palma de aceite en el departamento del Meta, a través de la técnica regresión lineal.

8. Marco Referencial

8.1. Estudios sobre el uso de técnicas predictivas para la producción de Palma de Aceite

Según Hastari et al. (2024) se realizó un estudio de predicción de la producción de aceite de palma en Indonesia, por medio de algoritmos de minería de datos. Estos algoritmos que fueron utilizados fueron Support Vector regression (SVR) y Long Short Term Memory (LSTM). Estos algoritmos de aprendizaje automático dieron como resultado un 85% y 90% de precisión respectivamente, en la predicción de la producción de aceite de palma. Reconociendo que el uso de técnicas avanzadas de inteligencia artificial (IA) ayuda en el reconocimiento de patrones a largo plazo, que contribuyen en la efectiva toma de decisiones de la industria.

Tal como señala Setiawan & Zulkarnain (2024) análisis con lugar de estudio en Indonesia, enfocándose en generar predicción de la producción de la palma de aceite para una empresa local. Buscando mejorar los datos prospectivos proyectados para la toma de decisiones estratégicas y operativas en la industria. Se utilizaron dos modelos diferentes Long Short Term Memory (LSTM) y SARIMA esto con el fin de observar cual era más eficiente. Los datos empleados cubrieron un marco temporal de 26 años de 1997 a 2023, suficientes datos como para generar que el LSTM tuvo una precisión del 98.36%, y es óptimo para la predicción de la producción mensual. Se menciona que es importante tener características del clima y del suelo para obtener mayor precisión, como también una trazabilidad diaria de la producción.

Jamshidi et al. (2024) se llevó a cabo un estudio en Pahang, península de Malasia, empleando datos recolectados de 49 parcelas de palma de aceite. En el que su principal objetivo fue predecir el rendimiento de la palma de aceite, por medio de datos agronómicos y la evaluación de 17 modelos diferentes de machine learning y deep learning. Se utilizaron herramientas como Extra Trees Regressor, LightGBM Regressor, CatBoost Regressor, Random Forest Regressor, XGBoost Regressor, Deep Neural Network, entre otros. En el que como resultado se encontró que el modelo con mayor precisión fue el Extra Trees Regressor con un R^2 de 0,65 y un error cuadrático medio de 860,36. Determinando que factores como índices de clorofila, edad de la planta, longitud de dosel y los niveles de boro son los que más influyen en el rendimiento.

De acuerdo a Halmi & Putri (2024) estudio ejecutado en Indonesia, con el objetivo principal de desarrollar un modelo de prospección para los precios del crudo de aceite de palma,

implementando backpropagation mediante el cual se llevaron a cabo procesos de recolección de datos, procesamiento, diseño y evaluación del algoritmo empleando Python. Después de llevado a cabo por estos métodos de redes neuronales artificiales, se pudo concluir que el modelo backpropagation obtuvo un error de 0,5378 después de 1000 décadas, sugiriendo que este modelo es capaz de predecir cada uno de los precios futuros del crudo de aceite de palma, de manera adecuada y con una buena precisión.

Respecto a Khan et al. (2021) mediante una revisión teórica desarrolla en Malasia e Indonesia, sobre la implementación de técnicas de Machine Learning en el la industria de la palma de aceite, destaca que el 16% de los estudios que buscan predecir rendimiento, producción, precio del CPO emplean algoritmos como SVR, Redes Neuronales Artificiales (ANN) y Random Forest. Destacando que el algoritmo más utilizado es el SVM, gracias a su capacidad de estudiar, analizar y procesar datos complejos con una alta precisión. Finalmente concluye que hay falta de modelos predictivos en la industria de palma de aceite.

8.2. Factores ambientales y agronómicos en la producción de Palma de Aceite

De acuerdo con Ordoñez Marroquín (2024), en el diseño de un modelo para pronosticar la producción de palma de aceite en el periodo del 2010 al 2020 en Guatemala y teniendo como propósito determinar el grado de influencia entre variables como producción, humedad, radiación solar, temperatura y precipitación a través de la implementación de análisis correlacionales y series de tiempo. Dejando estimaciones teniendo en cuenta los mayores coeficientes de Pearson sobre la correlación de factores ambientales a la variable de producción como un -0.33 en precipitación y -0.24 en temperatura, concluyendo así que el grado de asociación de estos es bajo a nivel estadístico.

Como indica Gómez Arango (2024), en un estudio realizado en la ciudad de Medellín con el fin de diseñar un modelo de predicción con la aplicación de técnicas de Machine Learning y con preprocesamiento de datos en conjunto para abordar una problemática de prospección de cultivos por rendimiento, se implementó en el modelado una reducción de dimensionalidad que dió como resultado la captura del 80% de la varianza en los datos recopilados en la inclusión de modelos de regresión lineal múltiple, así como también una supresión en el 10% de datos atípicos, sin embargo,

se destacó aún más la precisión de modelos como XGB Boosting y Random Forest siendo que estos presentaban una menor heterocedasticidad.

Según Prof. Sunitha S et al. (2024) investigación llevada a cabo en la India, se realizó con el propósito de implementar un modelo predictivo del rendimiento de la palma de aceite, estableciéndose por medio de técnicas de Machine Learnig. Incorporando variables como: clima, suelo y técnicas de cultivo con el fin de generar prospecciones precisas. Se desarrolló implementando el algoritmo de Random Forest. Dando como resultado que el modelo ejecutado con Random Forest Regression mostró una capacidad de predicción óptima para el rendimiento de la palma de aceite.

8.3. Análisis prospectivo del sector de Palma de Aceite

Según Párraga et al. (2021), en un estudio prospectivo de la producción de palma de aceite en la provincia Esmeraldas de Ecuador para el año 2025, se aplicaron los métodos SMIC PROB EXPERT, MACTOR y MIC-MAC para definir aquellas variables que fueran claves en el condicionamiento del sistema a estudiar, encontrando en su análisis que existían al menos 6 variables influyentes y dependientes como la rentabilidad, la participación del mercado, las plantas de extracción, las capacitaciones, los softwares informáticos y la innovación. También incluyendo en sus resultados los actores involucrados de mayor influencia y dependencia como asociación nacional de cultivadores de palma aceitera, productores de palma y ministerio de agricultura.

Jáuregui Contreras (2022), en una investigación enfocada a establecer una prospección para el sector palmero del municipio de Villanueva (Casanare), se hizo uso de una metodología conocida como análisis estructural que es muy relevante para la realización de proyecciones futuras del objeto de estudio, debido a que determina las relaciones entre variables que pueden describir el sector y aquellas que tienen dependencia. Resaltando principalmente de este estudio algunos resultados de desafíos y problemas adversos para el sector palmero como la explotación de la madera y la carencia de control sobre el uso de los recursos naturales.

8.4. Sostenibilidad y prácticas de manejo en la producción de Palma de Aceite

En línea a Vázquez-Burguete et al. (2023), en un estudio exploratorio en España sobre el aceite de palma y su sostenibilidad teniendo en cuenta el conocimiento del consumidor acerca del aceite de palma sostenible. El estudio se desarrolló utilizando como metodología un cuestionario compuesto por tres apartados, sociodemográfico, usos y efectos del aceite de palma y producción y certificación de aceite de palma sostenible. Entre los resultados se destaca que la mayoría de participantes respondieron a favor de que una gran variedad de productos contienen aceite de palma (150 de 226 personas) y también que tienden a señalar una imagen negativa acerca de los efectos adversos provocados por el uso de aceite de palma.

Conforme a lo expresado por Rincón-Romero et al. (2022), en un trabajo de investigación llevado a cabo en Colombia, con el fin de realizar una gestión de bases de datos sobre las áreas sembradas del cultivo de palma de aceite alrededor del país, por medio de la georreferenciación. Para el estudio se emplearon tecnologías de GPS y fotointerpretación satelital, permitiendo georreferenciar en un 100% las áreas de cultivo estimadas, siendo un total de 625.066 ha. Por otro lado, se realizó la caracterización agronómica del 55% de estas áreas estimadas. Desempeñando la ciencia de datos un papel fundamental para el desarrollo investigativo, permitiendo la integración y actualización de la información, ayudando en la planificación estratégica y manejo del cultivo de palma de aceite en Colombia.

Según Watson-Hernández et al. (2022), en un estudio aplicado en Costa Rica que se realizó mediante la utilización de imágenes satelitales y técnicas de aprendizaje automático para la predicción de la producción de palma de aceite se dispuso que en la calibración de los modelos implementados analizando el conjunto de datos a partir de las variables de la edad de la planta y la humedad del ambiente, XGBoost y Random Forest tenían los mejores resultados en el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y en el coeficiente de determinación (r^2) con valores superiores al 0.91. En la evaluación también se determinó que esto funcionaba similar para el uso de cualquier material genético.

8.5. Impacto socioeconómico de la producción de Palma de Aceite

De acuerdo con Solórzano-Thompson et al. (2021) en la investigación de cultivos de palma de aceite en Costa Rica, se comparó el nivel de eficiencia de 8 modelos de crecimiento no lineal, donde cada modelo fue ajustado con el propósito de dar una prospección acerca del rendimiento de la palma de aceite. En cada modelo se evaluó un pronóstico de un período de 25 años, dando como resultado que en todos los implementados, a partir del décimo año el rendimiento comienza a presentar un patrón de estabilización que va en contra de lo que los productores de palma de aceite reportan para edades avanzadas de cultivo, donde la norma general es que haya una reducción.

Tal como señala Maulidya et al. (2021), estudio localizado en Indonesia, teniendo como objetivo la predicción y el análisis de los cambios del uso de suelo en Penajam para el año 2031. Implementando el uso de modelos de predicción como cadenas de Markov, que permitieron la comprensión prospectiva de la expansión de palma de aceite y el impacto ambiental, como la deforestación de la región. Para el estudio de predicción se tomó en cuenta bases de datos históricas desde 2009 hasta 2019. Dejando como resultados una proyección para el 2031 de 11.542,57 ha. Además, mencionando que el área de bosque disminuyó mientras que el área sembrada de palma de aceite aumentó, teniendo un porcentaje de precisión de 88%.

9. Marco Metodológico

9.1. Tipo de Investigación

En el análisis prospectivo de la producción de Palma de Aceite, el tipo de estudio que se determinó es un estudio de enfoque cuantitativo y de tipo predictivo, inicialmente se realizaron algunos apuntes descriptivos para definir el contexto general de la producción de palma de aceite.

Esto se llevó a cabo por medio del estudio de la base de datos histórica de la palma de aceite comprendida por un marco temporal de (2007 – 2023), dicha base de datos ha sido recopilada por la UPRA permitiendo el desarrollo de la ciencia de datos para el manejo extenso de datos, como también un modelo de regresión por la cantidad de datos, que permitió una predicción del área sembrada y producción en el departamento del Meta. Teniendo en cuenta los modelos más implementados a nivel mundial sobre la predicción y prospección en la palma de aceite mencionados en el marco referencial.

9.2. Población

Esta investigación se desarrolló en el marco del análisis de la producción de palma de aceite en el departamento del Meta. Por tanto, se centró en el estudio de fuentes secundarias de información provenientes de entidades como Fedepalma, UPRA, el Ministerio de Agricultura, y datos estadísticos históricos sobre producción, área sembrada, cosechada y rendimiento.

La población objetivo corresponde al comportamiento agrícola del cultivo de palma de aceite en el departamento del Meta, lo que permitió validar, a través del análisis documental y estadístico, las variables que han influenciado su crecimiento a lo largo del tiempo. Con base en esta información, se aplicaron las metodologías de análisis prospectivo MICMAC, MACTOR y Regresión Lineal Simple, orientadas a identificar las variables clave, actores involucrados y la predicción del comportamiento del cultivo en la región.

9.3. Área de Investigación

El Departamento del Meta se encuentra ubicado en la región central de Colombia, siendo uno de los 32 departamentos que conforman el país. El departamento se compone de 29 municipios, dentro de los cuales se encuentra Villavicencio, siendo la capital departamental; Acacías, Granada, Restrepo, Puerto López, entre otros. Además, con una amplia extensión de territorio, siendo el cuarto más extenso a nivel nacional, con un total de 82.805 km².

En términos climáticos, el departamento del Meta maneja un clima tropical, el cual se caracteriza por temperaturas cálidas durante todo el año y una temporada de lluvias en el medio de los meses de abril y noviembre, teniendo una temperatura promedio que oscila entre los 24 °C y 28 °C.

Por este motivo, a modo de conocer el área de estudio, se presenta la Figura 1, mostrando cómo es el departamento del Meta frente a los demás 31 departamentos que componen a Colombia, y luego mostrando cada uno de sus 29 municipios.

Figura 1. Mapa Colombia – Meta

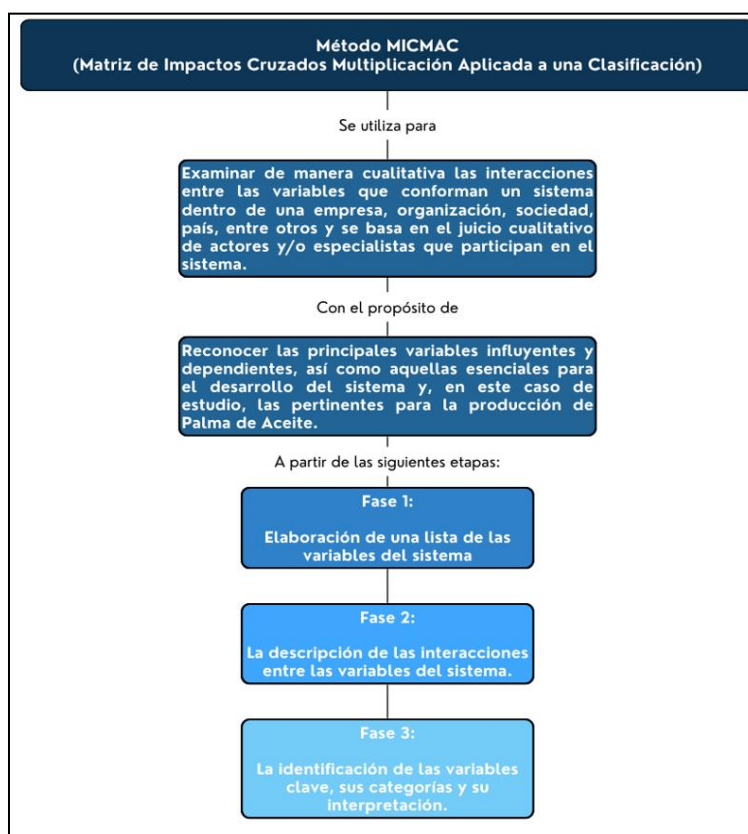


9.4. Técnicas

Para el desarrollo del análisis prospectivo de la producción de la palma de aceite en el departamento del Meta, se utilizaron metodologías que ayudan a identificar factores clave y proyectar escenarios futuros. Pasando por el Método MICMAC que permite analizar la dependencia e influencia de las variables que influyen la producción. Además de la implementación del método MACTOR que evalúa las interacciones y relaciones entre los actores clave del sector. Finalizando con el método de Regresión Lineal Simple permitiendo la proyección o predicción de la producción, área sembrada y área cosechada en el departamento del Meta a 10 años 2024-2033.

9.4.1 Método MICMAC

Figura 2. Mapa de Concepto Método MICMAC



Nota. Adaptado de: Villegas & Alejandro (2011)

9.4.2 Método MACTOR

El método MACTOR (Método, Actores, Objetivos, Resultados de Fuerza) analiza las relaciones de poder entre los actores, como sus coincidencias y diferencias con base a unos objetivos y posturas. Estas etapas examinan las interacciones y lineamientos estratégicos:

Figura 3. Síntesis de Etapas Método MACTOR

FASES	TÍTULO	DESCRIPCIÓN	ESCALAS Y CRITERIOS
1	Identificación de Actores	<ul style="list-style-type: none"> Elaborar la lista de actores que controlan o influyen en las variables clave del análisis estructural. 	N/A
2	Definición de Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> Establecer los objetivos estratégicos de los actores respecto a las variables clave. Generar la lista de objetivos. 	N/A
3	Evaluación de Influencias entre Actores	<ul style="list-style-type: none"> Jerarquizar a los actores mediante una matriz de influencias entre actores (Matriz de Actores x Actores, MAA). 	<p>Escala de Influencia:</p> <p>4: Cuestiona la existencia de Aj. 3: Cuestiona las funciones de Aj. 2: Cuestiona los proyectos de Aj. 1: Cuestiona operaciones limitadas de Aj. 0: No tiene influencia sobre Aj.</p>
4	Postura de Actores frente a Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> Definir la actitud de cada actor respecto a los objetivos (apoyo, oposición, neutralidad, indiferencia). Representar en una matriz Actores x Objetivos. 	<p>Signos:</p> <p>(+) Apoyo (-) Oposición (O) Neutralidad</p> <p>Escala de Ponderación:</p> <p>4: Cuestiona la existencia del actor. 3: Afecta misiones del actor. 2: Crucial para proyectos del actor. 1: Impacto limitado en operaciones. 0: Poca o ninguna relevancia.</p>
5	Evaluación de Coincidencias y Divergencias	<ul style="list-style-type: none"> Medir el nivel de coincidencia y divergencia entre actores y la distancia entre los objetivos del sistema. 	N/A

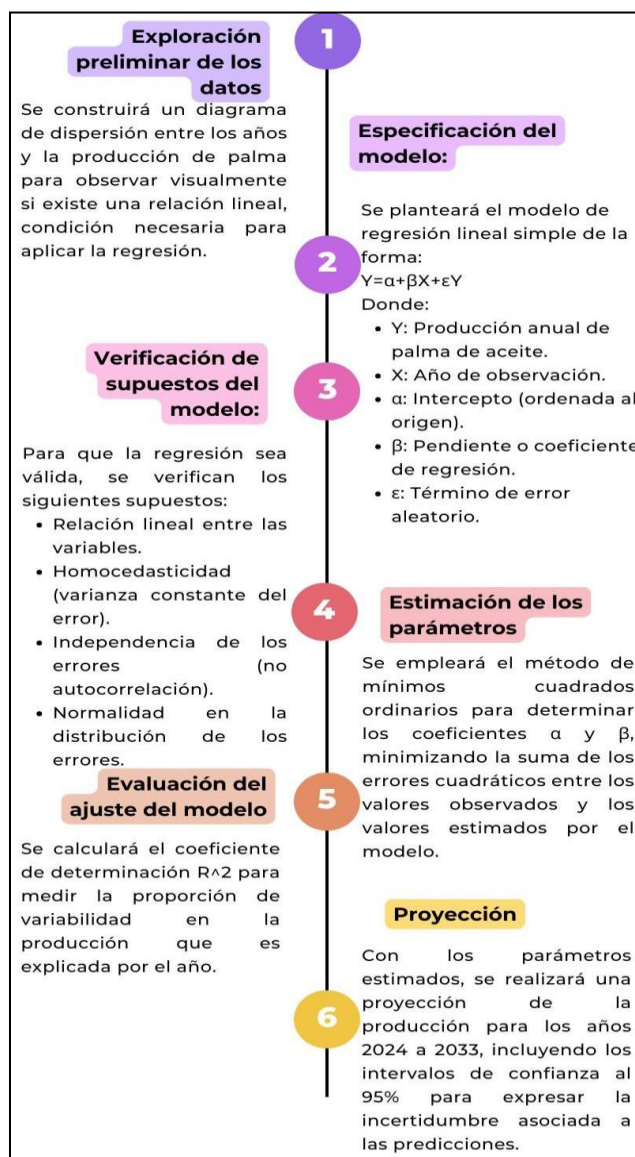
Nota. Adaptado de: Villegas & Alejandro (2011)

9.4.3 Método de Regresión Lineal Simple

Para estimar el escenario potencial de desarrollo productivo del sector de palma de aceite en el departamento del Meta, se utilizará la técnica de regresión lineal simple, aplicada mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Esta técnica estadística permite analizar la

relación entre una variable dependiente (producción anual de palma de aceite) y una variable independiente (tiempo, medido en años), con el fin de realizar proyecciones a futuro.

Figura 4. Síntesis de pasos Método de Regresión Lineal Simple



Nota. Adaptado de: Camacho et al. (2006)

9.5. Análisis de Datos

El análisis de datos empleando las metodologías MICMAC, MACTOR y el método de Regresión Lineal Simple con Mínimos Cuadrados Ordinarios de forma estructural fue de tipo mixto.

9.5.1 MICMAC & MACTOR

Cuantitativos: Incluyen las elaboraciones de matrices de variables o actores que identifican las relaciones de poder, influencia y dependencia asignando valores numéricos que en sus resultados pueden ser analizados mediante ponderación.

Estadísticos: Incluyen representaciones gráficas en las relaciones previamente establecidas para la visualización de agrupaciones en función de su interrelación.

Cualitativos: Interpretaciones descriptivas de los valores obtenidos contextualizando su importancia y relacionamiento.

9.5.2 Método Regresión Lineal Simple

Cuantitativo: Permite modelar la relación entre una variable dependiente (producción) y una independiente (tiempo), mediante una ecuación matemática. Se estiman los parámetros del modelo (intercepto y pendiente) utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios.

Estadístico: Incluye gráficos como el diagrama de dispersión, la línea de tendencia y los intervalos de confianza. Se evalúa el coeficiente de determinación (R^2) para medir la calidad del ajuste, además de verificar supuestos como homocedasticidad, independencia y normalidad.

Cualitativo: Se interpreta la relación entre las variables, el comportamiento de la producción en el tiempo y las implicaciones que tendría su proyección. El análisis permite contextualizar la tendencia observada y establecer escenarios futuros a partir de los resultados del modelo.

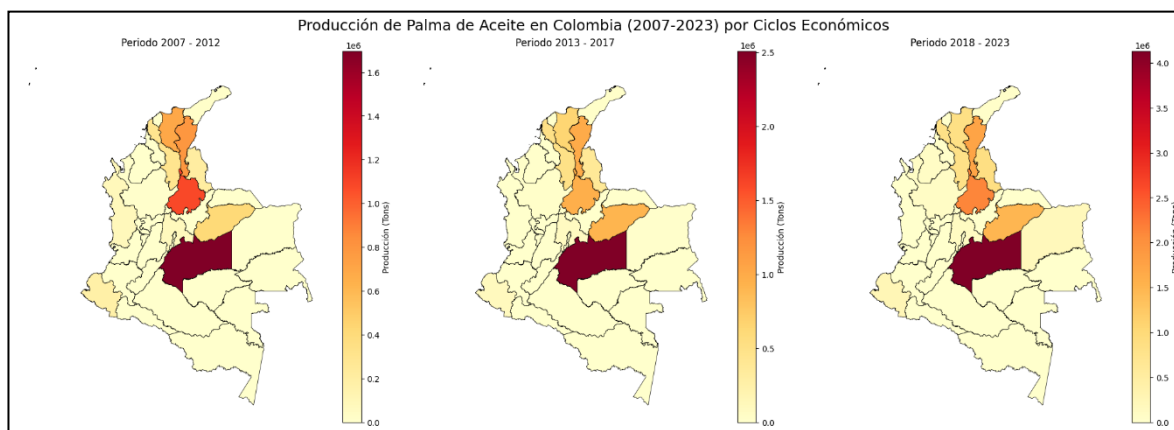
10. Resultados y Discusiones

10.1. Análisis de producción histórica desde 2007 al 2023

10.1.1 Colombia

Para entender el contexto de la palma de aceite en el departamento del Meta, en primera instancia se evaluó descriptivamente el país. Para de esta manera entender la importancia del cultivo de palma de aceite para el territorio metense. A través del transcurso de las últimas dos décadas, se observan alrededor de cinco a seis departamentos con una producción constante del cultivo de palma de aceite, destacando en cada ciclo económico el departamento del Meta, quien es el mayor productor de este, manteniéndose como el líder en producción, como se observa en la Figura 5.

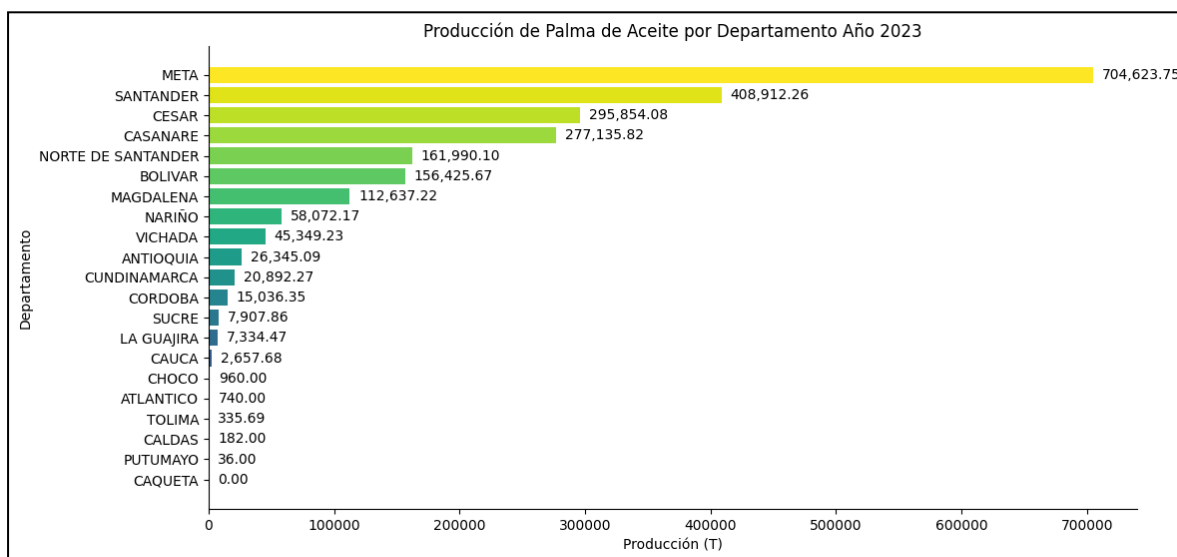
Figura 5. Producción de Palma de Aceite en Colombia (2007 - 2023) por Ciclos Económicos



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Para el último año que se tienen cifras reales dadas por la UPRA, el departamento del Meta mantiene su posición como productor de palma aceitera, casi duplicando las cifras con respecto al departamento de Santander y triplicando al Cesar y Casanare. Teniendo en cuenta que, respecto a Fedepalma (2024), en 2023 el valor de la producción del sector palmero logró una participación del 12,1% en el PIB agrícola nacional.

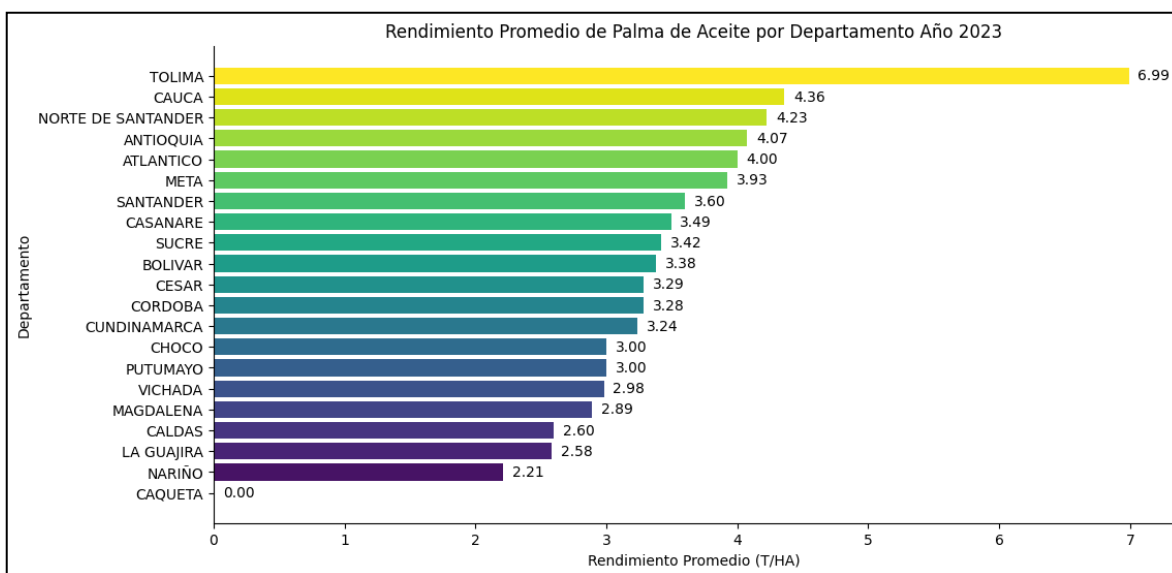
Figura 6. Producción de Palma de Aceite por Departamento - Año 2023



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Sin embargo, aunque la producción masiva de palma aceitera en el departamento del Meta sea un fuerte importante de crecimiento económico, no ha indicado que el rendimiento de estos cultivos sea el óptimo. Para el 2023, el departamento fue el sexto con mejor rendimiento en Colombia, teniendo un rendimiento promedio de 3,93 t/ha, siendo regular para lo que representa este cultivo.

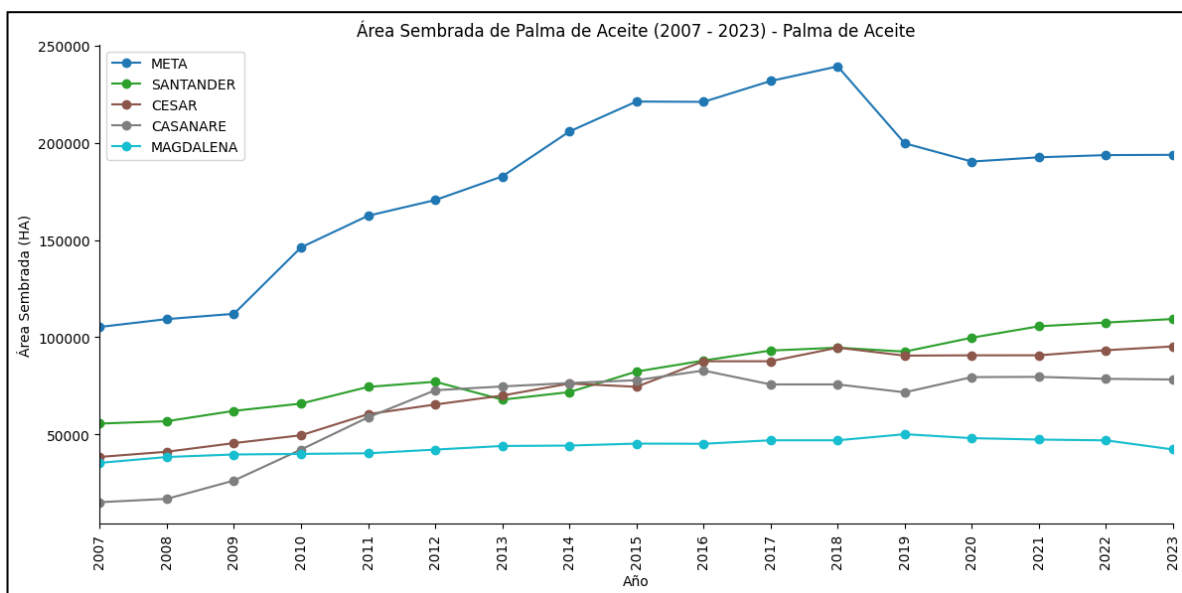
Figura 7. Rendimiento Promedio de Palma de Aceite por Departamento - Año 2023



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Ahora bien, cada año se ha ido fortaleciendo la siembra de la palma de aceite, llegando a su punto más alto en el año 2018, cuyo momento fue un punto crítico para los siguientes años, ya que, por factores desconocidos, se empezó a disminuir su cultivo con el pasar del tiempo. Una variable tomada en cuenta a razón de entendimiento son los periodos comprendidos entre 2020 a inicios del 2021, en el que, al transcurso de este año, la agricultura se vio fuertemente afectada por la Covid-19. Según Cevher et al. (2025), durante este periodo, aproximadamente la mitad de los agricultores enfrentaron dificultades en el acceso a insumos esenciales como fertilizantes y semillas, mientras que cerca del 87,3% reportó una disminución en sus ingresos y un 16,5% consideró abandonar su actividad agrícola debido a las restricciones y dificultades en la comercialización de productos.

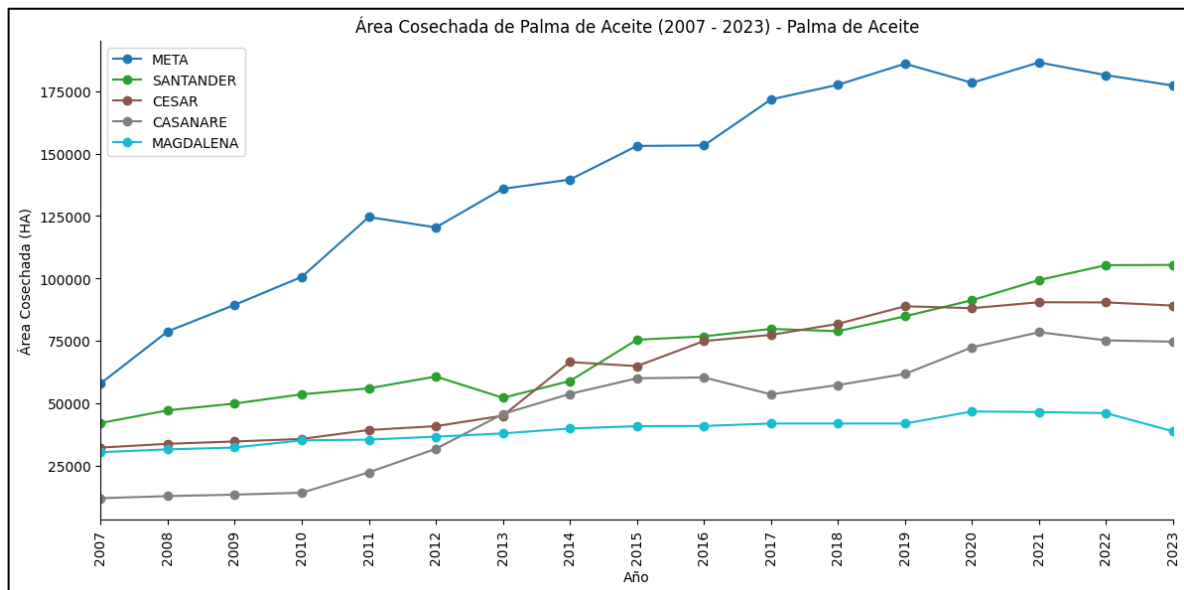
Figura 8. Área Sembrada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Departamentos



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Por otra parte, el área cosechada en el 2019 fue el punto de mesa para las posteriores cosechas, ya que, al empezar a cultivar menos, el área de cosecha se empezó a disminuir. Sin embargo, no fue algo pronunciado, sino que se ha podido mantener el ritmo que se fue teniendo durante los últimos cuatro años.

Figura 9. Área Cosechada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Departamentos

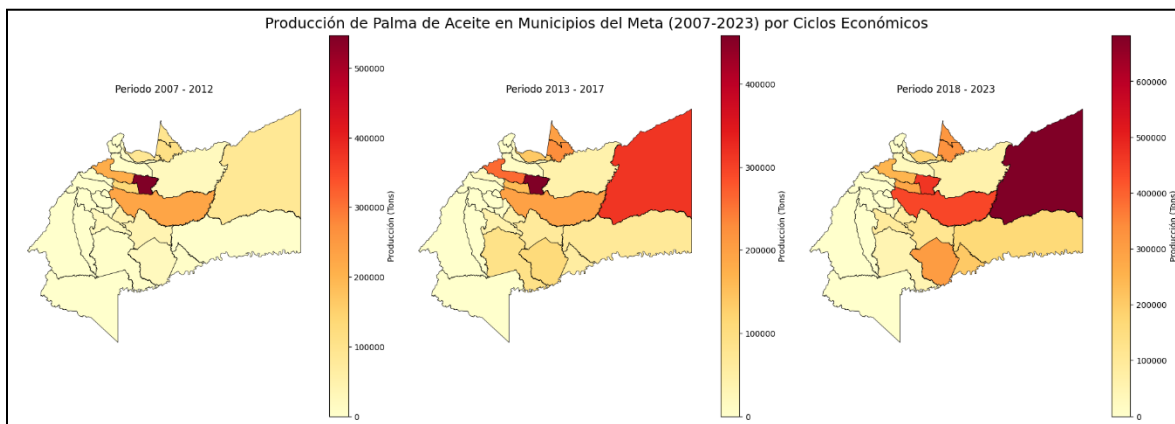


Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

10.1.2 Meta

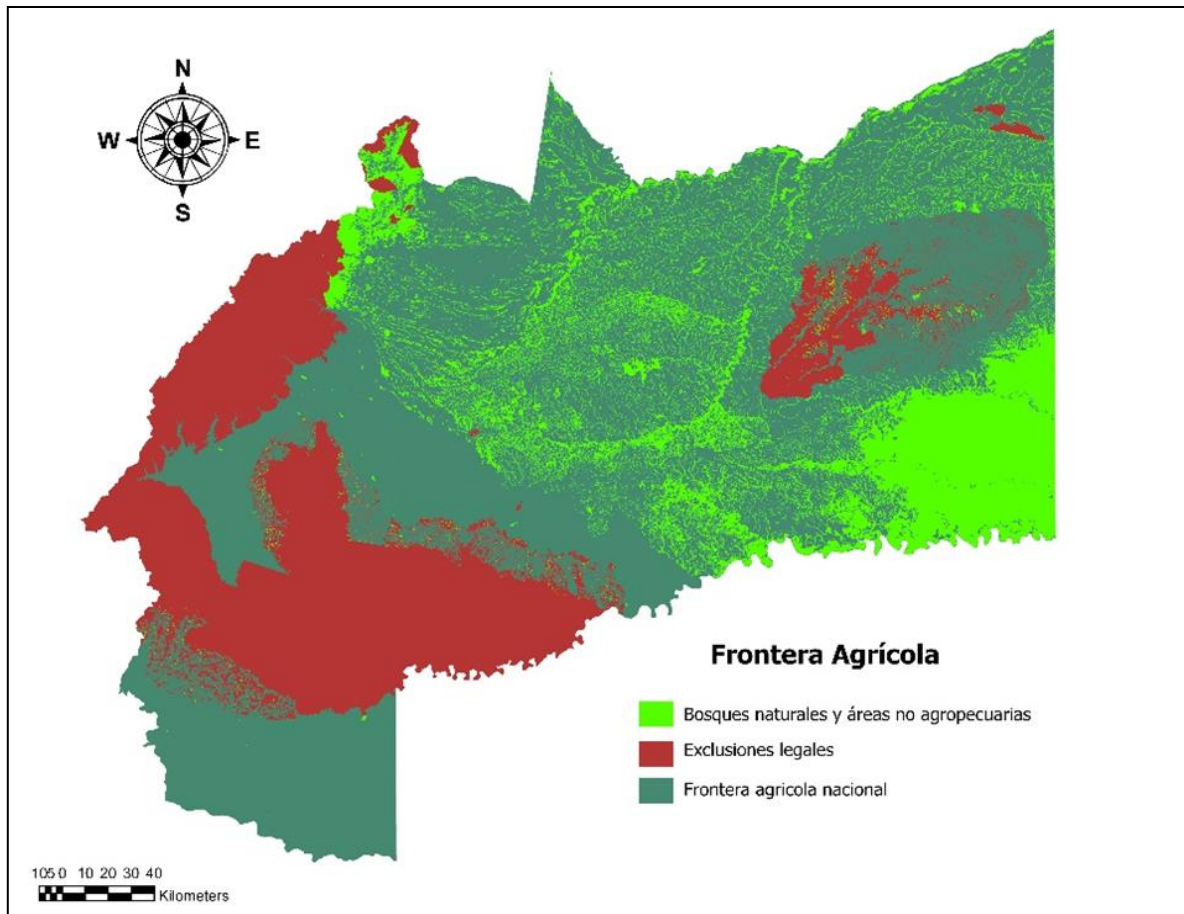
Teniendo en cuenta cómo evolucionó el cultivo de palma de aceite en Colombia, en el marco temporal establecido (2007 - 2023), y la importancia del departamento del Meta en términos de producción, área sembrada, área cosechada y rendimiento, se realizó el respectivo análisis descriptivo de la situación que se ha presentado en el departamento por cada uno de sus municipios, en donde es posible observar en la Figura 12 cómo ha ido variando la producción en este tiempo. Destacando el municipio de Puerto Gaitán, el cual, inicialmente, no destaca en cantidad de producción en los ciclos económicos seleccionados.

Figura 10. Producción de Palma de Aceite en Municipios del Meta (2007 - 2023) por Ciclos Económicos



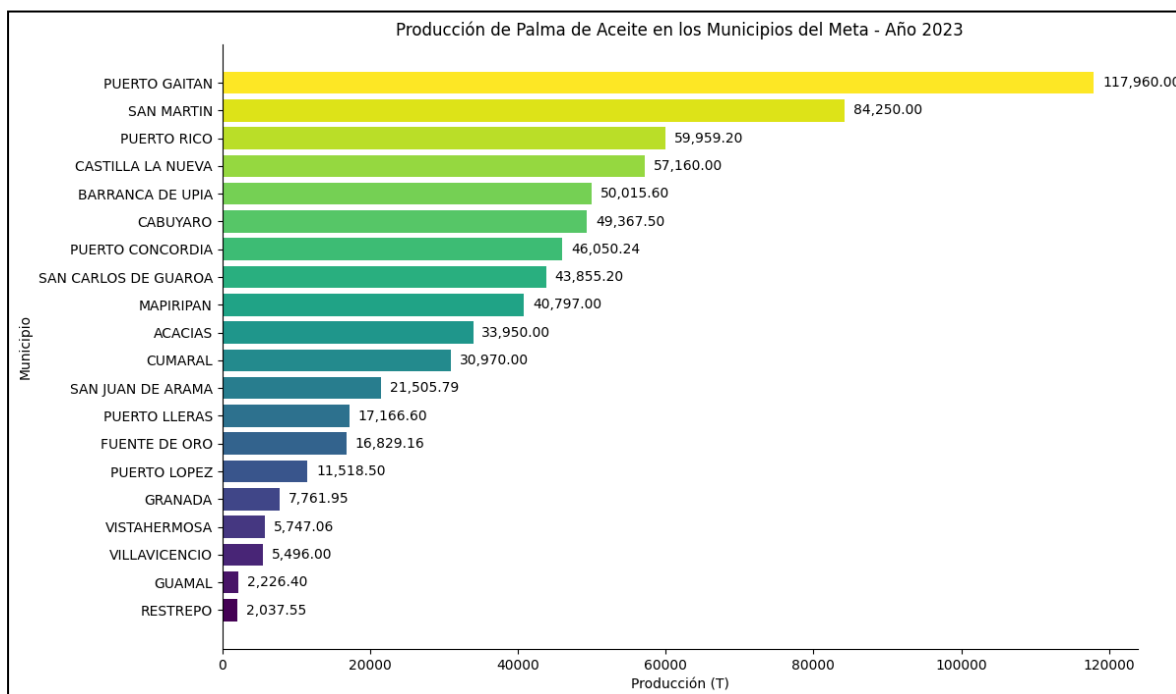
Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Aquí son importantes las variables económicas, sociales y, sobre todo, gubernamentales, ya que la frontera agrícola, a través del tiempo, ha ido marcando que la palma de aceite debe concentrarse, en gran parte, en Puerto Gaitán y municipios aledaños. Según el análisis realizado por Quiroga Téllez (2022), en municipios como Puerto Gaitán y Puerto López se han consolidado proyectos agroindustriales extensivos, como el cultivo de palma de aceite, mediante procesos de concentración de tierra. Destaca el caso de Corficolombiana, que posee 17 predios que suman más de 13.700 hectáreas en estos municipios, lo cual evidencia cómo la expansión de la frontera agrícola ha estado respaldada por grandes actores económicos, transformando el uso del suelo en zonas estratégicas de la Altillanura.

Figura 11. Mapa de Frontera Agrícola de Palma de Aceite en el Meta

Como el gráfico anterior muestra, una gran parte de la zona a cosechar la palma de aceite es la zona este del departamento del Meta, zona en la que se encuentra la mayor producción de este cultivo. Además, como se evidencia en la Figura 13, es una zona de textura de suelo arenosa, permitiendo que la palma de aceite tenga las características óptimas para que sea cultivado y siga siendo el cultivo con mayor área sembrada y cosechada del país.

Figura 12. Producción de Palma de Aceite en los Municipios del Meta - Año 2023



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Es importante considerar que Puerto Gaitán, con un área de 17.536 km², es el más grande del departamento, y, aun con esta consideración, los demás municipios tienen una sólida cantidad de producción en el año 2023, permitiendo destacar la homogeneidad del cultivo en todo el departamento. Esto es debido al buen rendimiento que se observa en una buena proporción de los municipios del Meta, gracias a las características óptimas del suelo para este tipo de cultivo, ya que, en gran parte del departamento, su suelo es arenoso, el cual, Figueroa (2012) menciona, que los suelos con buena profundidad y drenaje eficiente, de textura arcillosa ligera, ricos en materia orgánica, con una topografía mayormente plana o suavemente ondulada, con pendientes menores al 2% y una fertilidad de moderada a alta.

Figura 13. Mapa Textura de Suelo Departamento del Meta

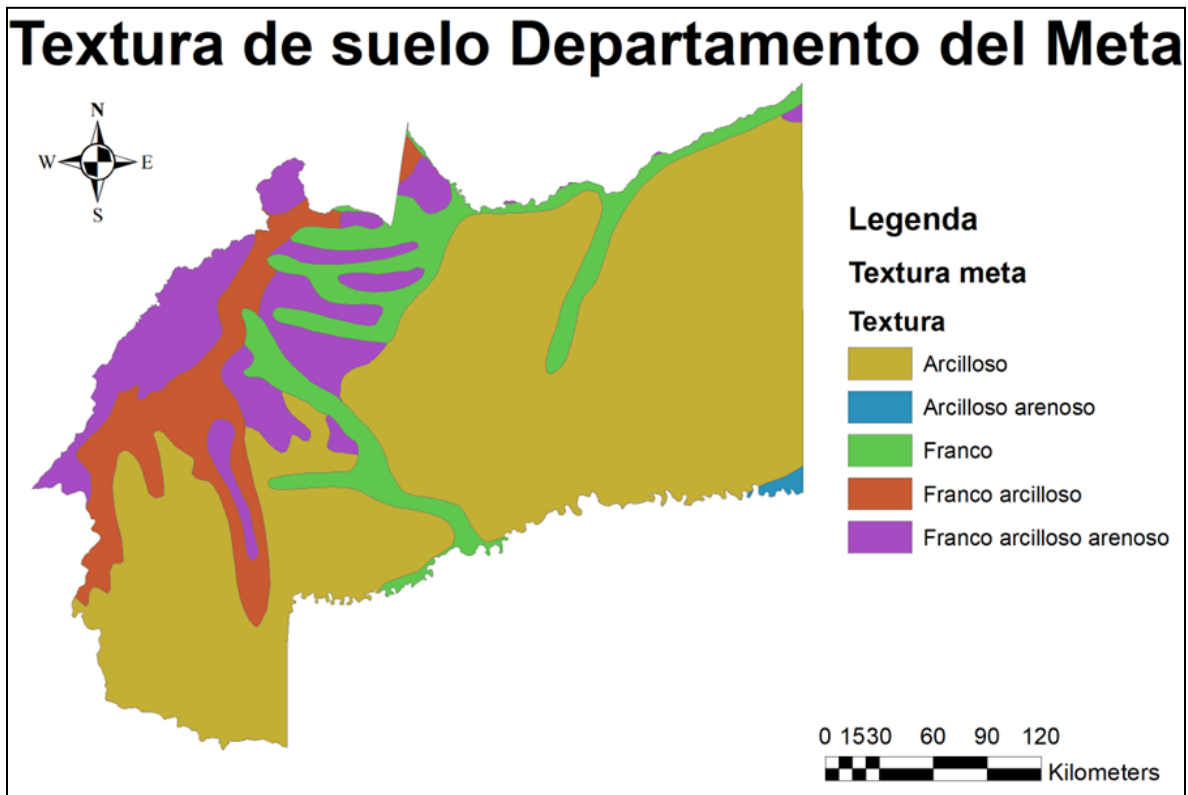
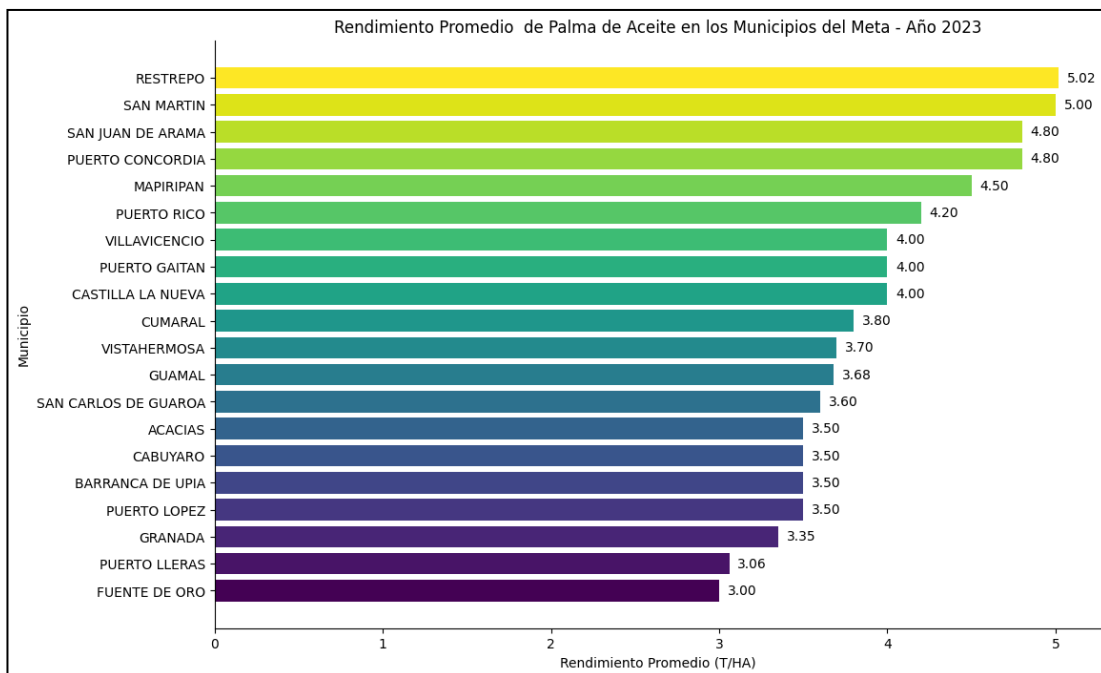


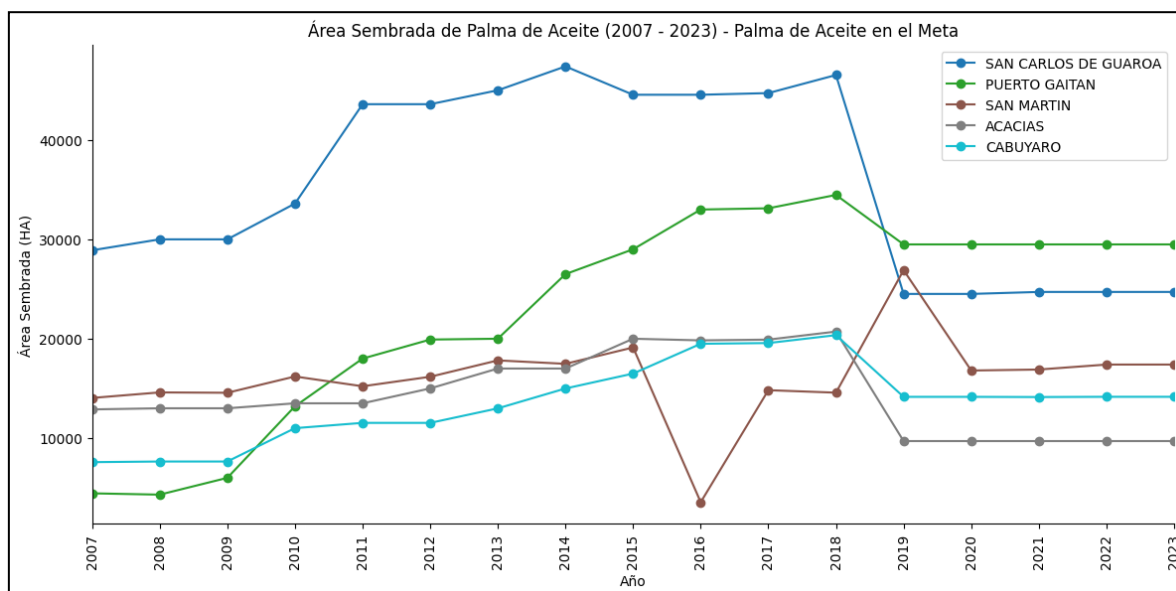
Figura 14. Rendimiento Promedio de Palma de Aceite en los Municipios del Meta - Año 2023



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

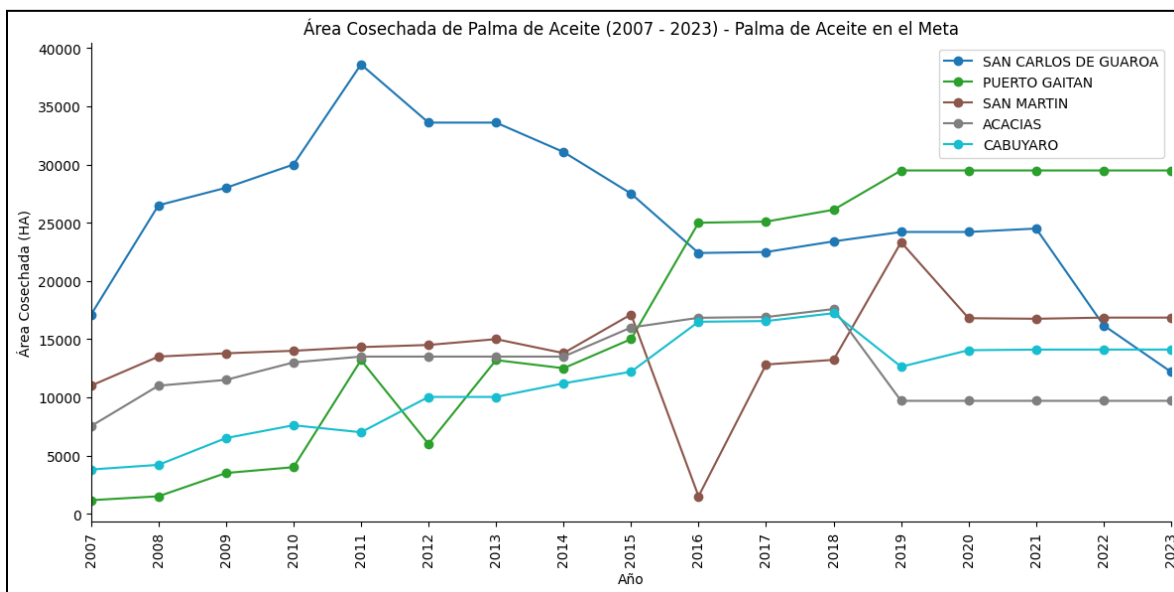
Si bien el rango de rendimiento del cultivo de palma de aceite está entre 5 y 3 t/ha, se siguió evidenciando ese pico negativo en términos de área sembrada por municipio, como se observó en la Figura 8, cuyas razones específicas pueden ser variadas, como las mencionadas anteriormente.

Figura 15. Área Sembrada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Municipios del Meta
 Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)



De la misma forma, el área cosechada ha presentado una meseta en su crecimiento año tras año; sin embargo, a diferencia del área sembrada, es un año después, pero presentando la misma estacionalidad en la cantidad de área cosechada, como se presenta para la sembrada en los últimos 5 años.

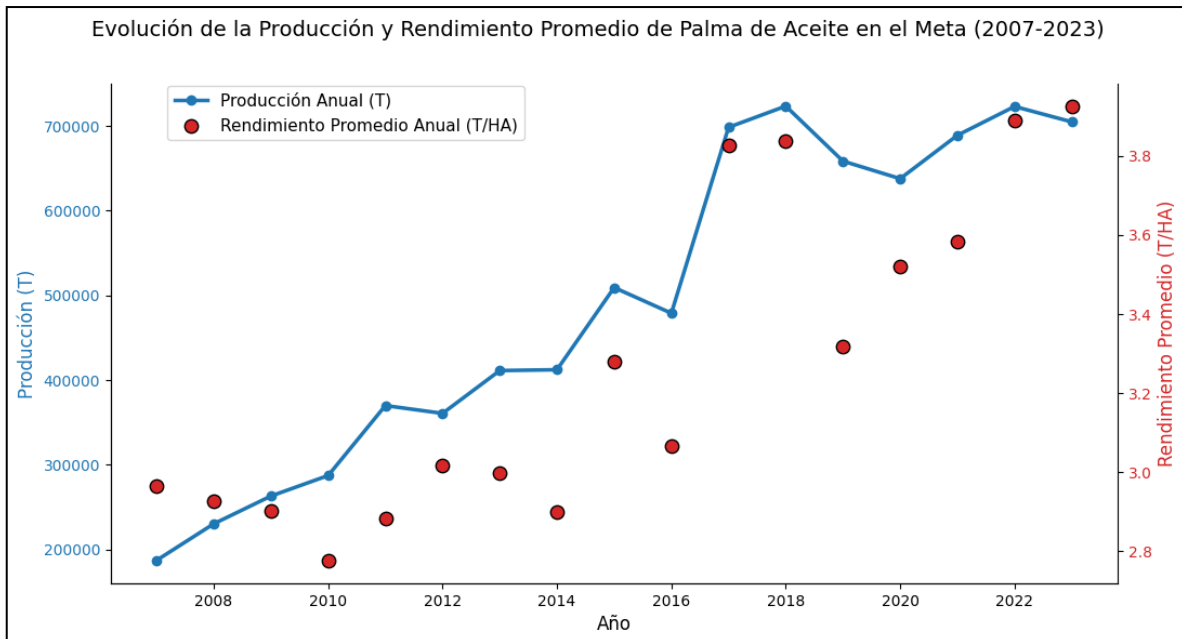
Figura 16. Área Cosechada de Palma de Aceite (2007 - 2023) - 5 Mejores Municipios del Meta



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

Para el departamento del Meta, el tener un mayor rendimiento no significa que necesariamente se vaya a tener la mayor cantidad de toneladas de producción, ya que tienen una correlación del 0,39. Esto se debe a que la producción está muy relacionada con el área cosechada y hace que el rendimiento promedio sea muy susceptible a los cambios. Además, dentro de la base de datos, para la variable de rendimiento se presentaron inconsistencias, ya que, en todos los casos, no se presentaban datos de rendimiento, obligando a la implementación de tácticas de manejo de datos nulos, cuyos valores alteran significativamente el estudio.

Figura 17. Evolución de la Producción y Rendimiento Promedio de Palma de Aceite en el Meta (2007 - 2023)



Nota. Adaptado de: Datos Históricos UPRA (2007-2023)

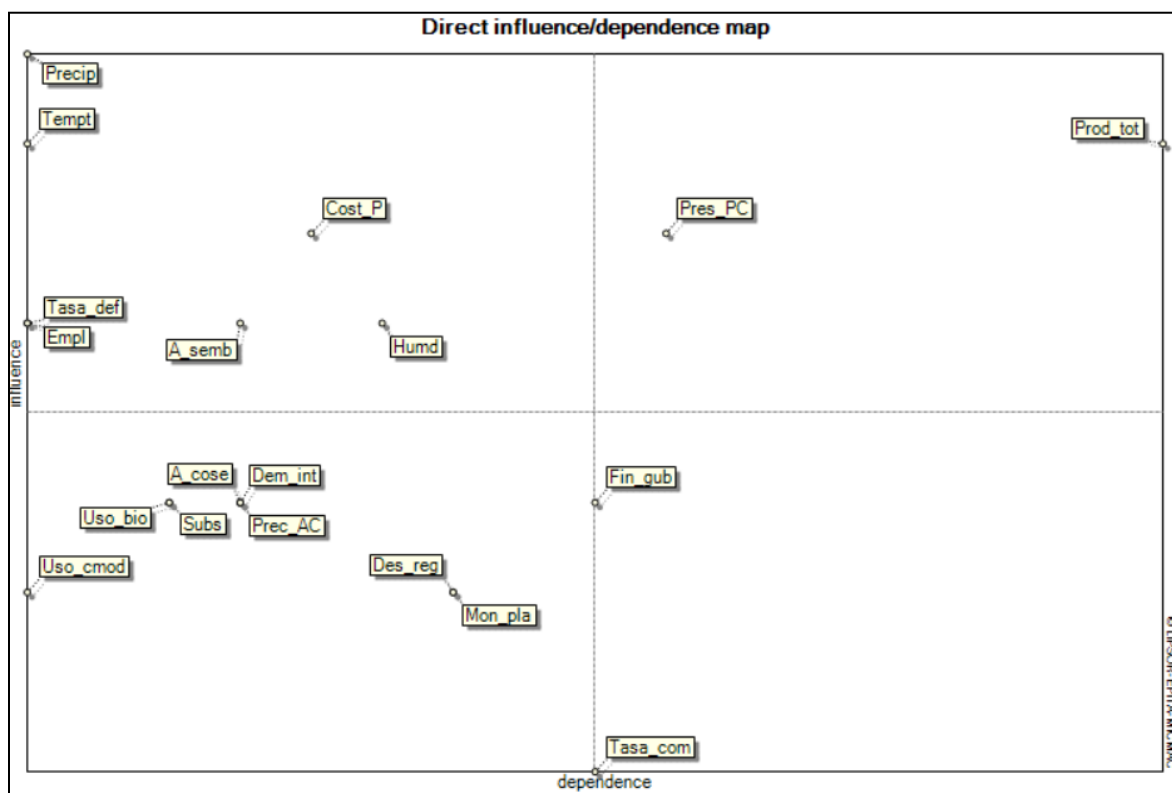
10.2. Identificación de factores de dependencia e influencia de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta

10.2.1 Método MICMAC

Tabla 1. Aplicación Método MICMAC - Factores y Variables Palma de Aceite

Factores	Variables	Referencias
Condiciones ambientales	Precipitación, temperatura, humedad	Ordoñez Marroquín (2024)
Producción y rendimiento	Área sembrada, área cosechada, producción total	Datos Históricos UPRA (2007-2023)
Problemas fitosanitarios	Presencia de pudrición del cogollo (PC)	Saavedra Mera (2021)
Socioeconómicos	Costos de producción, empleabilidad	Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (2021)
Expansión de cultivos	Tasa de deforestación	Maulidya et al. (2021)
Mercado	Precios del aceite de palma, demanda internacional	Halmi & Putri (2024)
Control biológico de plagas	Uso de agentes biológicos, monitoreo de plagas	Priwiratama et al. (2019)
Intervención gubernamental	Subsidios, financiamiento gubernamental	Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (2024)
Impacto social de la producción	Uso de combustibles modernos, desarrollo regional	Edwards (2019)
Competitividad internacional	Tasa de comercialización	Murphy et al. (2021)

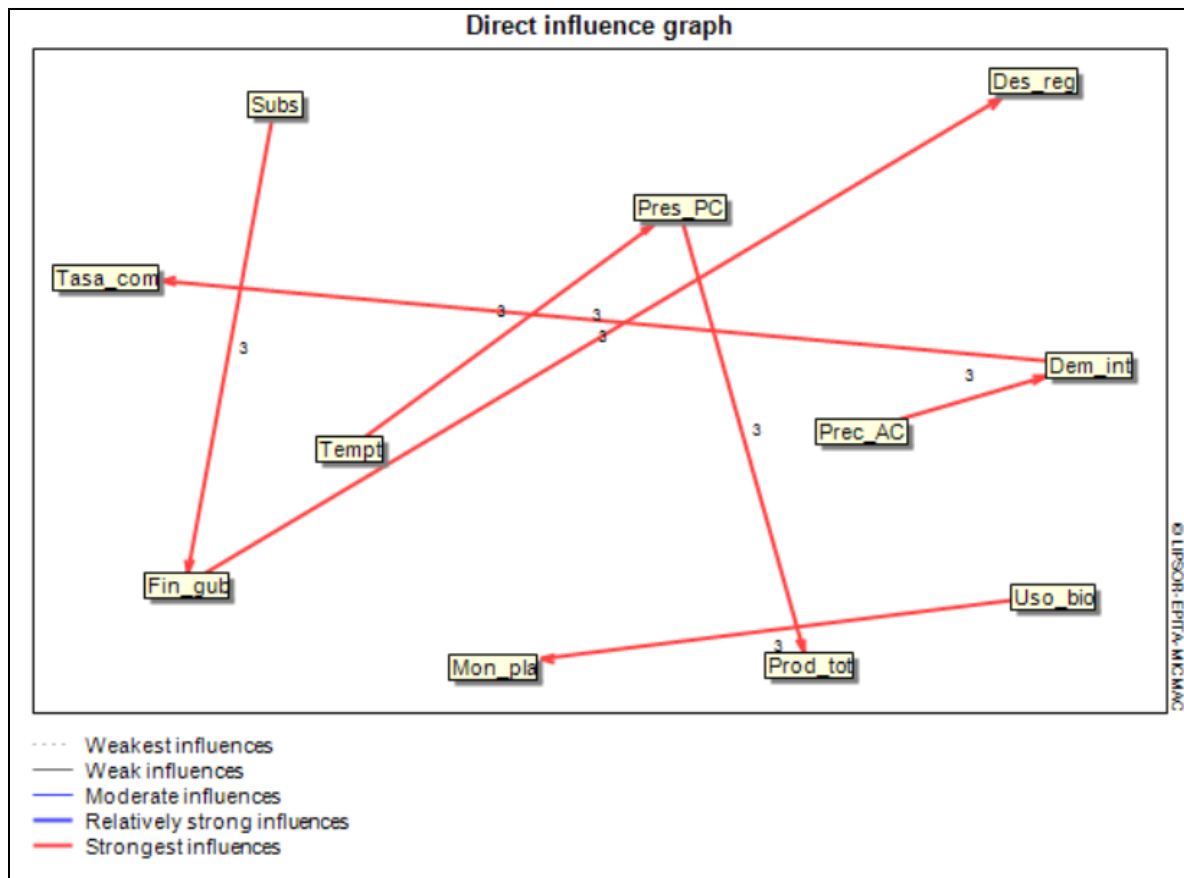
Figura 18. Plano de Influencias y Dependencias entre Variables



El plano de influencias y dependencias entre variables muestra en el cuadrante superior derecho aquellas variables estratégicas que más influencia tienen sobre las demás variables presentadas en la tabla 1 para el contexto de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta. En este caso las dos variables representativas que están en ese cuadrante con nombre acortado en la gráfica “Pres_PC” Y “Prod_tot” corresponden a la presencia de pudrición del cogollo y a la producción total respectivamente.

Según Montero y Caicedo (2022) disminuir la extensión de la enfermedad del cogollo favorece la producción sirviendo también como estrategia para reducir la dependencia de la palma de aceite.

Figura 19. Plano de Influencias Directas entre Variables



En el gráfico de influencias directas entre variables nos muestra las relaciones que hay entre ellas en la iteración de estas. De esta forma, el plano hace visible aquellas variables que tienen una relación directa o indirecta con otras variables independientemente de su grado de influencia y/o dependencia, entendiendo así que cada cambio en cada variable señalada puede afectar a las demás según su relación.

Se observa que hay una fuerte influencia entre la temperatura “Tempt”, la presencia de pudrición del cogollo “Pres_PC” y la producción total “Prod_tot”. Ibáñez (2022) incluyó que entre los factores que afectan la salud de las plantas y las dejan expuestas a enfermedades se encuentran principalmente aquellas que generan cambios en las condiciones climáticas como la temperatura y la escasez de agua. Zambrano (2023) concuerda en lo anterior señalando que la temperatura y el exceso de humedad pueden provocar la presencia de plagas como la pudrición del cogollo las cuales llegan a producir pérdidas de un 50% del total de la producción.

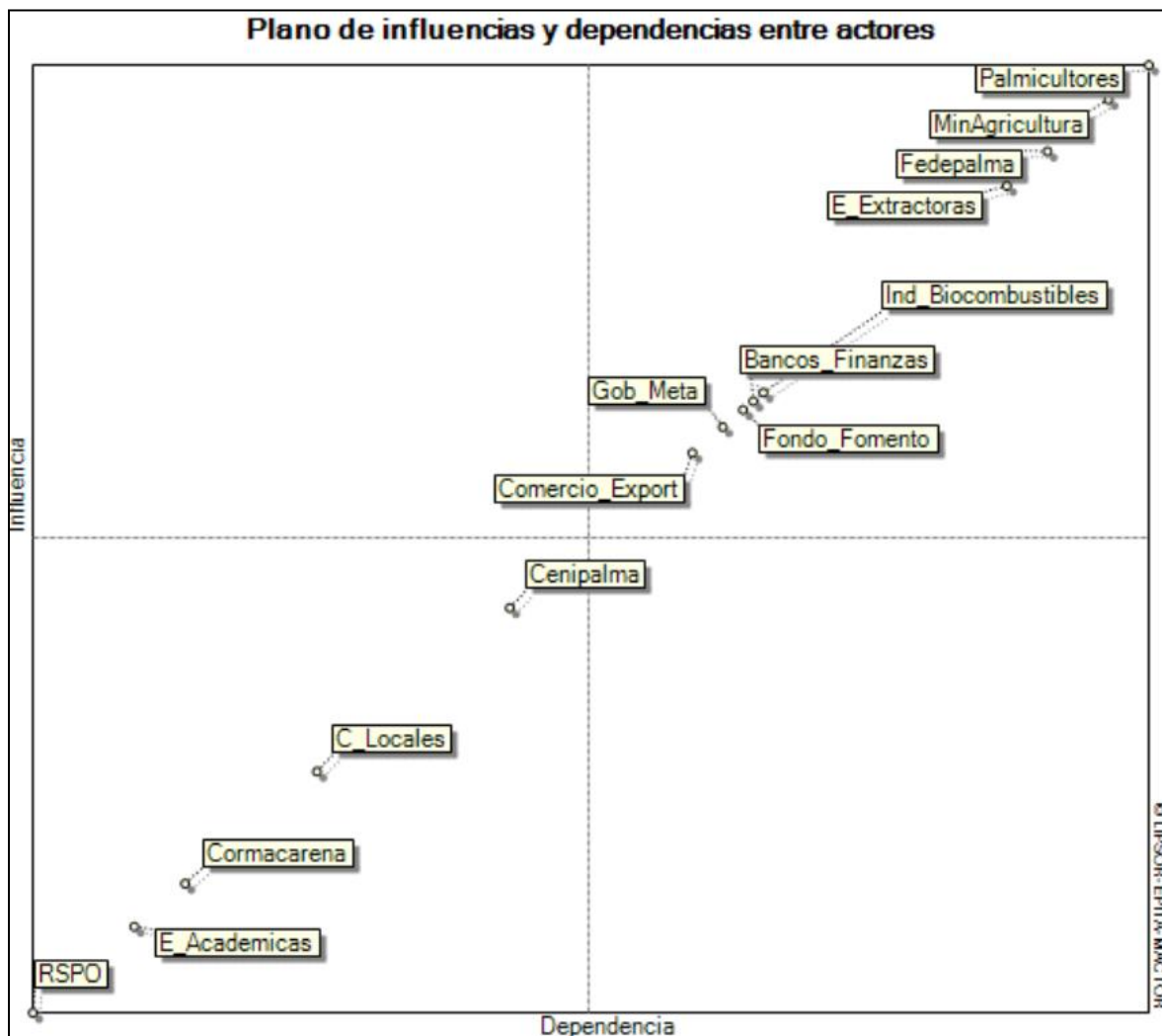
10.2.2 Método MACTOR

Para la aplicación del método MACTOR se definió los actores que intervienen en el cultivo de palma de aceite, no solamente en términos financieros, sino que aseguran una agricultura sostenible, que provee herramientas a los cultivadores como investigaciones de técnicas de cultivo, de tratamiento de plagas, entidades que velan por la calidad del cultivo y sus derivados, además de las entidades regulatorias que llevan datos históricos de este cultivo para buscar soluciones a las problemáticas dentro del sector y poder llevar un control del mismo. En la tabla 2 se muestran estos actores, los cuales fueron el insumo principal para el análisis del método MACTOR.

Tabla 2. Aplicación Método MACTOR - Actores de Influencia en Palma de Aceite

Actor	Nombre Corto	Definición
Fedepalma	Fedepalma	Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, que promueve el desarrollo del sector palmero en Colombia.
Cenipalma	Cenipalma	Centro de investigación científica y tecnológica para el desarrollo del sector palmero.
Fondo de Fomento Palmero	Fondo_Fomento	Fondo encargado de administrar los recursos para el fomento del cultivo de palma en Colombia.
Ministerio de Agricultura	MinAgricultura	Entidad gubernamental encargada de diseñar y ejecutar políticas agrícolas.
Cormacarena	Cormacarena	Autoridad ambiental con influencia en la regulación del sector agrícola y la sostenibilidad.
Gobernación del Meta	Gob_Meta	Entidad territorial encargada de la planificación y ejecución de políticas departamentales.
Palmicultores	Palmicultores	Productores independientes y asociaciones dedicadas al cultivo de palma de aceite en el Meta.
Empresas extractoras de aceite	E_Extractoras	Empresas dedicadas a la extracción y refinamiento del aceite de palma.
Comunidades locales	C_Locales	Comunidades que habitan en zonas de producción de palma y se ven afectadas por su expansión.
Entidades académicas	E_Academicas	Universidades y centros de investigación que generan conocimiento sobre producción sostenible.
Industria de biocombustibles	Ind_Biocombustibles	Sector industrial que utiliza aceite de palma para la producción de biocombustibles.
Comercio y exportadores	Comercio_Export	Empresas que comercializan y exportan productos derivados de la palma de aceite.
RSPO (Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible)	RSPO	Organización internacional que establece estándares de certificación para la producción sostenible de palma de aceite.
Bancos y entidades financieras	Bancos_Finanzas	Instituciones que financian proyectos del sector palmero y su sostenibilidad.

Figura 20. Plano de Influencias y Dependencias entre Actores



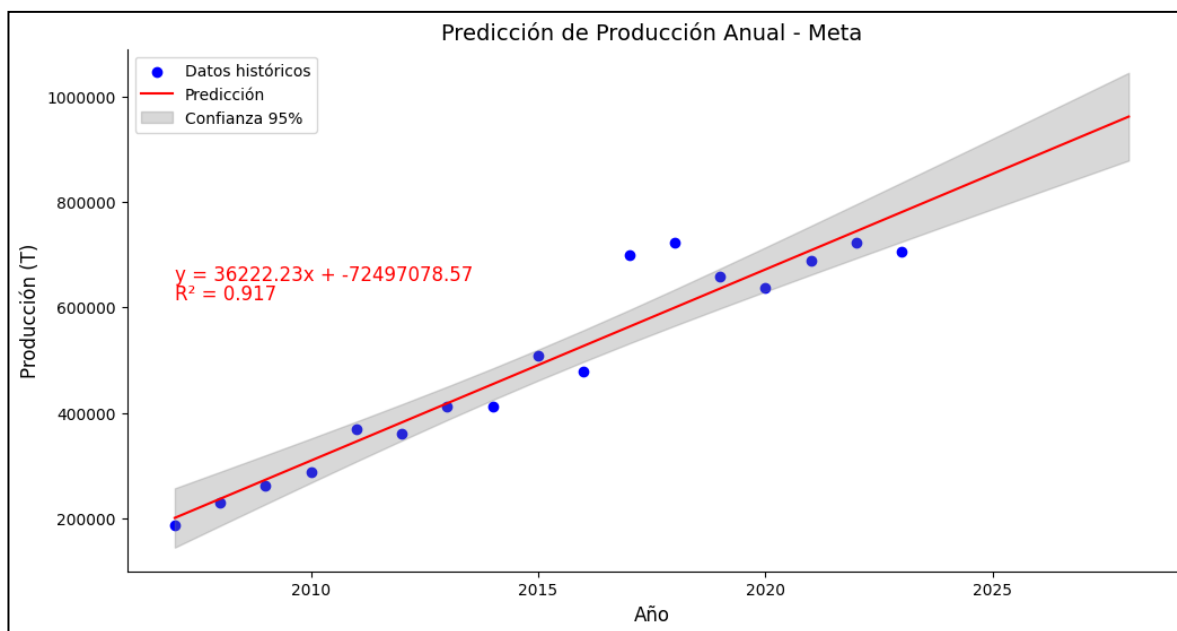
El plano de influencias y dependencias entre actores muestra en el cuadrante superior derecho a los actores que cumplen roles estratégicos indicando que tienen más influencia o que generan más dependencia sobre los demás actores involucrados y representados en la tabla 2 para el contexto de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta. Para los resultados de este método se encontró que hay bastantes actores que tienen un alto grado tanto de influyentes como dependientes. Entre ellos cabe resaltar a Palmicultores, Ministerio de Agricultura y Fedepalma. Carbajal & Cornejo (2024) explican que hay instituciones que participan activamente como uno de los actores principales para la producción de la palma aceitera realizando asociaciones e incluyendo productores y otras organizaciones que manejan plantas extractoras, siendo posible encajar Fedepalma en esta descripción. También, Párraga et al. (2021) con una

similar aplicación del método MACTOR muestran que entre los actores con mayor nivel de influencia y dependencia que están involucrados se encuentran las asociaciones nacionales de cultivadores de palma aceitera y los ministerios de agricultura.

10.3. Determinación de los escenarios potenciales de desarrollo a futuro de la producción de Palma de Aceite en el departamento del Meta

Para el análisis de los escenarios potenciales de desarrollo a futuro en la producción de palma de aceite en el Meta, fue importante emplear el método de Regresión Lineal Simple con Mínimos Cuadrados Ordinarios, donde la regresión lineal es un método estadístico que modela la relación entre una variable dependiente (y) y una o más variables independientes (x). En este caso, se usó para modelar cómo la producción, el área sembrada y el área cosechada evolucionan a lo largo del tiempo (años).

Figura 21. Predicción de Producción Anual para el Departamento del Meta

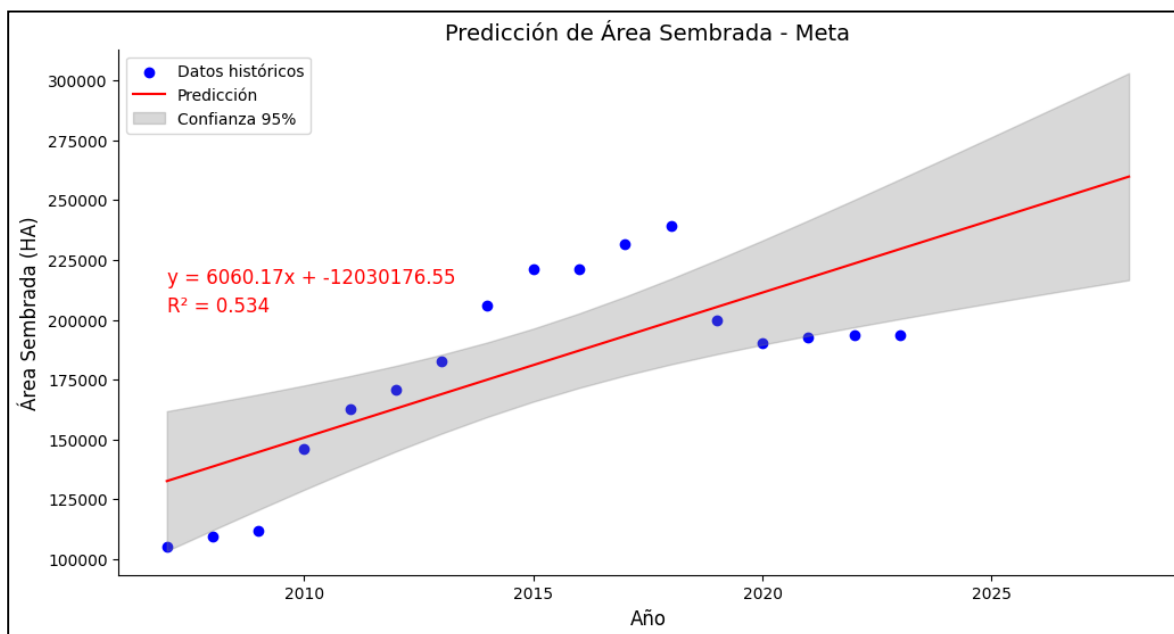


La ecuación observada en la Figura 21 representa la predicción a futuro de la producción anual desde el año 2024 hasta 2033. Además, se presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,917, indicando que este modelo se ajustó efectivamente a los datos y un buen nivel de confianza en los valores que se predijeron en la tabla 3.

Tabla 3. Predicción de Producción Anual de Palma de Aceite (2024-2033)

Año	Producción (T)	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
22024	816,721	755,397	878,044
22025	852,943	786,301	919,584
22026	889,165	817,101	961,229
22027	925,387	847,818	1,002,956
22028	961,609	878,469	1,044,750
22029	997,832	909,066	1,086,597
22030	1,034,054	939,619	1,128,489
22031	1,070,276	970,135	1,170,417
22032	1,106,498	1,000,620	1,212,376
22033	1,142,721	1,031,080	1,254,361

La tabla anterior presenta la proyección de producción anual de palma de aceite en el Meta, entre 2024 y 2033. Se observa una tendencia de crecimiento sostenido, con intervalos de confianza del 95% que permiten evaluar la incertidumbre en la estimación.

Figura 22. Predicción de Área Sembrada Anual para el Departamento del Meta

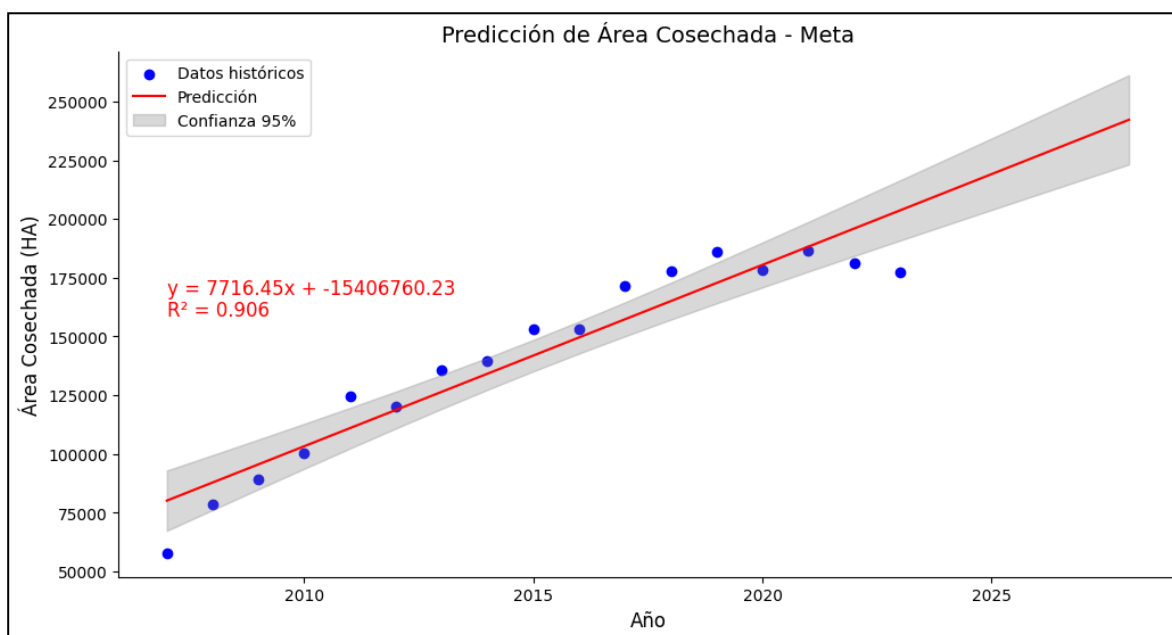
La ecuación mostrada en la Figura 22 representa la proyección del área sembrada para el período comprendido entre 2024 y 2033. El coeficiente de determinación (R^2) obtenido es de 0,534, lo que indica un ajuste moderado del modelo a los datos históricos. Aunque la predicción proporciona una estimación útil, su nivel de confianza es menor en comparación con modelos con valores de R^2 más altos. Los resultados detallados de esta proyección se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Predicción de Área Sembrada de Palma de Aceite (2024-2033)

Año	Área Sembrada (HA)	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
22024	235,605	203,707	267,502
22025	241,665	207,001	276,329
22026	247,725	210,241	285,209
22027	253,785	213,438	294,133
22028	259,846	216,600	303,091
22029	265,906	219,734	312,077
22030	271,966	222,845	321,086
22031	278,026	225,937	330,115
22032	284,086	229,014	339,159
22033	290,146	232,076	348,217

En la tabla anterior se presenta la proyección del área sembrada de palma de aceite en el Meta para el período 2024-2033. El modelo sugiere una expansión gradual del área sembrada, con márgenes de confianza que permiten evaluar la variabilidad en las estimaciones futuras.

Figura 23. Predicción de Área Cosechada Anual para el Departamento del Meta



La ecuación presentada en la Figura 23 muestra la proyección del área cosechada para el período 2024-2033. Con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,906, el modelo refleja un buen ajuste a los datos históricos, lo que indica una alta confiabilidad en las estimaciones obtenidas. Los resultados detallados de esta predicción se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Predicción de Área Cosechada de Palma de Aceite (2024-2033)

Año	Área Cosechada (HA)	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
22024	211,336	197,326	225,346
22025	219,052	203,828	234,277
22026	226,769	210,305	243,233
22027	234,485	216,764	252,207
22028	242,202	223,208	261,196
22029	249,918	229,639	270,198
22030	257,635	236,060	279,209
22031	265,351	242,473	288,229
22032	273,068	248,879	297,256
22033	280,784	255,279	306,289

La tabla muestra la estimación del crecimiento del área cosechada de palma de aceite en el Meta entre 2024 y 2033. El modelo indica una expansión progresiva, considerando márgenes de confianza que reflejan la posible variabilidad en las proyecciones.

Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Hermansyah et al. (2024), quienes aplicaron el método de regresión lineal múltiple para predecir la producción de palma de aceite en la plantación PTPN XIII Kebun Rimba Belian, obteniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0,9306 y un RMSE de 0,0698, lo cual evidenció una alta precisión en el modelo aplicado. Esta coincidencia respalda la validez del presente análisis, particularmente en lo referente a la producción, donde se obtuvo un $R^2 = 0,917$, reflejando un ajuste igualmente fuerte del modelo. Asimismo, aunque la proyección del área sembrada arrojó un valor de $R^2 = 0,534$, indicando un ajuste moderado, resultados similares en investigaciones anteriores refuerzan la utilidad de estos modelos incluso con valores intermedios de ajuste. Finalmente, la proyección del área cosechada mostró un $R^2 = 0.906$, reafirmando la confiabilidad del enfoque metodológico empleado.

Además, si bien existen métodos con mayor capacidad predictiva, como la regresión lineal múltiple, que podrían mejorar el ajuste en variables como el área sembrada, se optó por mantener la simplicidad del modelo. Esta decisión se basó en que las proyecciones para las otras variables presentaron niveles de confiabilidad elevados, y conforme al principio de la Navaja de Occam, no se justifica incrementar la complejidad del modelo cuando uno más simple ofrece resultados satisfactorios.

10.4. Limitaciones

Es fundamental reconocer las limitaciones de este estudio, incluyendo la posible influencia de la disponibilidad y calidad de los datos en la precisión de las proyecciones, así como la exclusión de ciertas variables (precios de mercado, políticas gubernamentales, eventos climáticos extremos) en el modelo de regresión lineal. Si bien se logró un alto nivel de ajuste en los modelos de proyección para la producción ($R^2 = 0.917$) y el área cosechada ($R^2 = 0.906$), la proyección del área sembrada reflejó una mayor variabilidad ($R^2 = 0.534$), lo cual responde a la complejidad de los factores que inciden sobre esta variable, muchos de los cuales son difíciles de anticipar con modelos lineales sencillos.

Por otro lado, aunque se reconoció la importancia de variables como el precio del aceite, políticas públicas, condiciones climáticas extremas o conflictos territoriales, estas no fueron incluidas cuantitativamente en el modelo de regresión. Esta decisión metodológica se tomó con el fin de mantener un enfoque práctico y aplicable, priorizando las variables más accesibles y con trazabilidad histórica confiable.

Se trabajó con datos anuales lo cual proporciona una visión de largo plazo adecuada para el análisis prospectivo, aunque puede limitar el detalle sobre fluctuaciones estacionales o eventos puntuales. El estudio se enfoca en el departamento del Meta, lo cual permite un análisis profundo y contextualizado, implicando que sus resultados no son directamente ajustados a otras regiones palmeras del país con dinámicas distintas.

Estas limitaciones fueron consideradas desde el diseño del estudio y no afectan la validez de los resultados; por el contrario, abren oportunidades para futuras investigaciones que profundicen en variables adicionales o complementen este análisis con nuevos enfoques metodológicos.

11. Conclusiones

El presente estudio prospectivo sobre la producción de palma de aceite en el departamento del Meta ha permitido desarrollar una visión integral de los posibles escenarios futuros para este importante sector agrícola. Se ha observado que la producción histórica (2007-2023) muestra una tendencia general de crecimiento, aunque con fluctuaciones interanuales que sugieren la influencia de factores externos como los ciclos económicos y las variaciones climáticas. El análisis de los factores de dependencia e influencia, realizado a través de los métodos MICMAC y MACTOR, reveló que variables como la inversión en infraestructura, las políticas de sostenibilidad y la tecnificación del cultivo juegan un papel crucial en la dinámica del sector. Asimismo, se identificó a los gremios del sector, el Estado y los productores como los actores con mayor capacidad de influencia, lo que resalta la importancia de la colaboración y la coordinación entre estos para orientar el desarrollo del sector hacia la sostenibilidad.

Las proyecciones de los escenarios potenciales, obtenidos mediante la técnica de regresión lineal, indican una posible continuación del crecimiento en la producción y el área cosechada en los próximos diez años. Sin embargo, es importante señalar que la proyección del área sembrada mostró una mayor variabilidad, lo que sugiere la influencia de otros factores no considerados en el modelo. Estos resultados tienen implicaciones significativas para la sostenibilidad del sector, ya que el crecimiento continuo debe equilibrarse con la necesidad de minimizar el impacto ambiental y social. Se requiere la implementación de políticas y prácticas que promuevan la intensificación sostenible, la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades locales.

En conclusión, este análisis prospectivo proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y la formulación de estrategias que permitan un desarrollo sostenible del sector de la palma de aceite en el departamento del Meta.

12. Recomendaciones

A partir de los resultados y conclusiones derivados de este estudio, se presentan una serie de recomendaciones con el objetivo de contribuir al desarrollo sostenible del sector de la palma de aceite en el departamento del Meta. En primer lugar, se insta a los productores a adoptar prácticas agrícolas que promuevan la sostenibilidad y la eficiencia. Esto implica un enfoque integral que abarque desde la implementación de técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades hasta la optimización del uso de recursos como el agua y los fertilizantes, buscando siempre minimizar el impacto ambiental y preservar la biodiversidad. Además, se enfatiza la importancia de la inversión en tecnología, recomendando a los productores la adopción de sistemas de monitoreo y control de precisión que permitan mejorar la productividad y la competitividad de sus plantaciones.

En segundo lugar, se dirigen recomendaciones a las autoridades gubernamentales y entes de política, subrayando la necesidad de fortalecer el marco de apoyo al sector. Esto implica el diseño e implementación de políticas que fomenten la sostenibilidad y la competitividad, incluyendo incentivos para la adopción de prácticas responsables, el impulso a la investigación y el desarrollo de tecnologías innovadoras, y la facilitación del acceso a financiamiento y asistencia técnica para los productores. Asimismo, se destaca la importancia de la inversión en infraestructura, especialmente en el desarrollo de vías de acceso y sistemas de logística eficientes, que permitan mejorar la conectividad y reducir los costos de transporte para los actores del sector.

Finalmente, se plantean recomendaciones para futuras investigaciones, reconociendo las limitaciones y las oportunidades de profundización en el tema. Se sugiere, en primer lugar, realizar estudios que exploren con mayor detalle la influencia de las variables climáticas en la producción de palma de aceite, buscando desarrollar modelos de predicción más adaptados a las condiciones locales. En segundo lugar, se recomienda ampliar el alcance de la investigación para incluir un análisis exhaustivo de los impactos socioeconómicos del sector en las comunidades, considerando aspectos como la generación de empleo, la distribución de ingresos y el desarrollo social. Por último, se propone que futuras investigaciones exploren modelos predictivos alternativos o incluyan variables adicionales en el análisis de la expansión del área sembrada, buscando mejorar la precisión de las proyecciones y comprender mejor la dinámica de este aspecto crucial para el desarrollo del sector.

13. Referencias bibliográficas

- Álvarez Canelo, L. A. (2023). *Evaluación Del Efecto De Diferentes Productos Químicos Y Bioestimulantes En Cuanto Al Rendimiento, Calidad Y Desarrollo Del Cultivo De Cebada Maltera (Hordeum Vulgare) En La Zona De Bajío Mexicano*. [Trabajo de grado, Instituto Tecnológico Superior De Salvatierra]. Repositorio Institucional <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/6588>
- Barrera Hernandez, J. C., Sagastume Gutierrez, A., Ramírez-Contreras, N. E., Cabello Eras, J. J., García-Nunez, J. A., Barrera Agudelo, O. R., & Silva Lora, E. E. (2024). *Biomass-Based Energy Potential From The Oil Palm Agroindustry In Colombia: A Path To Low Carbon Energy Transition*. *Journal Of Cleaner Production*, 449, 141808. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141808>
- Camacho, C., López, A., & Arias, M. (2006). Regresión Lineal Simple. *Documento Inédito*. <http://personal.us.es/vararey/adatos2/regsimple.pdf>.
- Carbajal Salas, R. S., & Cornejo Ñahuis, M. E. (2024). Aspectos determinantes de las exportaciones de aceite de palma en las regiones de Ucayali y San Martín durante el periodo 2019-2023. [Trabajo de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. *Repositorio Institucional*. <http://hdl.handle.net/10757/676199>
- Castiblanco, C., Etter, A., & Aide, T. M. (2013). *Oil palm plantations in Colombia: A model of future expansion*. *Environmental Science & Policy*, 27, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.01.003>
- Cevher, C., Ataseven, Y., & Cevher, Ş. C. (2025). *Farmers' desire to make changes in their agricultural branches in the first wave of COVID-19 pandemic restrictions: The example of Türkiye*. *Journal of Agricultural Sciences*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1387490>
- Cifuentes Alarcón, L. J. (2022). *Índice de sostenibilidad en plantaciones de palma de aceite afectadas con Pudrición de Cogollo Magdalena, Colombia*. [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/6020>

- Contreras Jáuregui, A. M. (2022). Prospectiva estructural del sector palmero en el municipio de Villanueva (Casanare). *FACE: Revista De La Facultad De Ciencias Económicas Y Empresariales*, 22(1), 282–295. <https://doi.org/10.24054/face.v22i1.1493>
- Edwards, R. B. (2019). *Export agriculture and rural poverty: Evidence from Indonesian palm oil* [Dartmouth College]. https://static1.squarespace.com/static/57d5edcf197aea51693538dc/t/5c98e6b4a4222ff822715558/1553524407756/eard_v9_1903_JIE-merged.pdf
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite., F. (2021). *La palma de aceite en el departamento de Meta*. [2021]. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141260>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, F. (2023). *Informe de Gestión 2023*. Informes de Gestión Fedepalma, 65-65.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, F. (2024). *Desempeño del sector palmero en 2023 y perspectivas 2024*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Fedepalma. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/142875>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, F. (2024). *Minianuario Estadístico 2024*. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/142880>
- Gómez Arango, A. M. (2024). *Predicción del rendimiento de cultivos agrícolas en los cinco corregimientos de la ciudad de Medellín, utilizando modelos de Machine Learning* [Tesis de Maestría, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/f4dcf9c6-a4e4-4252-b66e-b79a53f54d72/content>
- Halmi, M. R., & Putri, R. A. (2024). *Implementation of Artificial Neural Network in Predicting CPO Prices Using Backpropagation*. *Inform : Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 9(2), 161-165. <https://doi.org/10.25139/inform.v9i2.8434>
- Hastari, D., Mustakim, M., Novita, R., & Afdal, M. (2024). *Palm Oil Production Prediction Using Support Vector Regression Algorithm and Long Short-Term Memory*. 2024 International Conference on Circuit, Systems and Communication (ICCSC), 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCSC62074.2024.10616414>

- Hermansyah, H., Abdullah, A., & Utami, P. Y. (2024). Penerapan Metode Regresi Linier Berganda Untuk Memprediksi Panen Kelapa Sawit. *Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.35889/progresif.v20i1.1816>
- Ibáñez Fernández, C. E. (2022). *Caracterización físico-química de suelos y contenido de nutrientes foliares y su relación con la incidencia de la pudrición de cogollo en palma africana (Elaeis guineensis Jacq) en el municipio de Zona Bananera Magdalena*. [Trabajo de grado, Universidad De Córdoba]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/79b477aa-7e11-4550-8d3f-52817b632c0d>
- Jamshidi, E. J., Yusup, Y., Hooy, C. W., Kamaruddin, M. A., Mat Hassan, H., Muhammad, S. A., Mohd Shafri, H. Z., Then, K. H., Norizan, M. S., & Tan, C. C. (2024). *Predicting oil palm yield using a comprehensive agronomy dataset and 17 machine learning and deep learning models*. *Ecological Informatics*, 81, 102595. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102595>
- Khan, N., Kamaruddin, M. A., Sheikh, U. U., Yusup, Y., & Bakht, M. P. (2021). *Oil Palm and Machine Learning: Reviewing One Decade of Ideas, Innovations, Applications, and Gaps*. *Agriculture*, 11(9), 832. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090832>
- Loli Figueroa, O. (2012). *Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de palma aceitera*. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/30-c-palma-aceitera.pdf>
- Maulidya, A., Damayanti, A., Indra, T. L., & Dimiyati, M. (2021). *Prediction of Land Change for Oil Palm Plantations in Penajam Subdistrict, Penajam Paser Utara Regency, East Kalimantan Province*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1811(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012072>
- Montero-de-la-Cueva, J. V., & Caicedo-Aldaz, J. C. (2022). *Efectos económicos de la enfermedad del cogollo en la cadena productiva de la palma aceitera*. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(3), 13–25. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n3/54>
- Murphy, D. J., Goggin, K., & Paterson R, R. M. (2021). *Oil palm in the 2020s and beyond: Challenges and solutions*. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2, 1-22. [https://doi.org/Murphy et al. CABI Agric Bi](https://doi.org/Murphy%20et%20al.%20CABI%20Agric%20Bi)<https://doi.org/10.1186/s43170-021-00058-3>
- Ordoñez Marroquín, R. R. (2024). *Diseño de un modelo estadístico para pronosticar la producción de palma de aceite mediante análisis correlacionales y series de tiempo de la*

- producción durante el periodo 2010 al 2020* [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/20256/1/Ronald%20Ricardo%20Ordo%C3%B1ez%20Marroqu%C3%ADn.pdf>
- Pardo, L., & Ocampo-Peñuela, N. (2019). *Contexto actual del impacto ambiental de la palma de aceite en Colombia*. Palmas, 40(3), 79-88. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12868>
- Párraga, M. A. L., Quiñonez, A. G. B., & Peñate, M. U. (2021). *Estudio prospectivo: Escenarios probabilísticos del sector de la producción de aceite de palma en la provincia de Esmeraldas al 2025: Prospective study: probabilistic scenarios of the palm oil production sector in the province of Esmeraldas to 2025*. South Florida Journal of Development, 2(4), 5094-5110. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n4-011>
- Priwiratama, H., Prasetyo, A. E., & Susanto, A. (2019). *Control biológico de insectos plaga de palma de aceite en Indonesia*. Palmas, 40(Especial T), 77-93. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13030>
- Prof. Sunitha S, Ullagaddi Raghuvveer Dheekshith, Gunjalli Srivara, Bharath Gouda K B, & J Niranjana Kumar. (2024). *Palm Oil Yield Prediction using Machine Learning*. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 4(1), 480-484. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-18079>
- Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H., & Grass, I. (2020). *Environmental, Economic, and Social Consequences of the Oil Palm Boom*. Annual Review of Resource Economics, 12(1), 321-344. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-024922>
- Quiroga Téllez, L. M. (2022). *Análisis ambiental de la frontera agrícola en la Orinoquía colombiana* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85331>
- Rincón-Romero, V. O., Molina-Villarreal, A., Zabala-Quimbayo, A., Barrera-Agudelo, O. R., & Torres-León, J. L. (2022). *The oil palm cadastre in Colombia*. Agronomía Colombiana, 40(2), 258-269. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.98801>
- Saavedra Mera, K. A. (2021). *Impacto económico de la pudrición del cogollo (phytophthora palmivora) de palma aceite, cantón La Unión*. Journal of Economic and Social Science Research, 1(2), 38-49. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n2/30>

- Saavedra-Mera, K. A., Casanova-Villalba, C. I., Cadena, A. Y. E., & Pai, Y. E. P. (2022). *Análisis económico frente a la PC (Phytophthora palmivora) de la Palma Africana en el sector agroindustrial. Caso de estudio La Fabril planta La Independencia periodo 2021*. Código Científico Revista de Investigación, 3(3), 301-315. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v3/n3/67>
- Setiawan, N. H., & Zulkarnain, Z. (2024). *Forecasting Palm Oil Production Using Long Short-Term Memory (LSTM) With Time Series Cross Validation (TSCV)*. International Journal of Social Service and Research, 4(05), 1237-1251. <https://doi.org/10.46799/ijssr.v4i05.780>
- Solórzano-Thompson, J., Paniagua-Molina, J., & Barboza-Navarro, D. (2021). *Ajuste de diferentes modelos de crecimiento no lineal al rendimiento de la palma aceitera (Elaeis guineensis) a lo largo del ciclo de vida del cultivo, Costa Rica*. Revista Tecnología en Marcha, 34(1), 115-126. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.5096>
- Vázquez-Burguete, J. L., Lanero-Carrizo, A., & Sahelices-Pinto, C. (2023). *Aceite de palma y sostenibilidad: Un estudio exploratorio sobre conocimiento y percepción por parte de los consumidores*. Responsibility and Sustainability, 8(1), 61-69. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7625756>
- Villegas, J. B. G., & Alejandro, D. V. C. (2011). *El uso del método MICMAC y MACTOR análisis prospectivo en un área operativa para la búsqueda de la excelencia operativa a través del Lean Manufacturing*. InnOvaciOnes de NegOciOs, 8(16), 335-356. <https://doi.org/10.29105/rinn8.16-6>
- Watson-Hernández, F., Gómez-Calderón, N., & Da Silva, R. P. (2022). *Oil Palm Yield Estimation Based on Vegetation and Humidity Indices Generated from Satellite Images and Machine Learning Techniques*. AgriEngineering, 4(1), 279-291. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010019>
- Zambrano Freire, T. E. (2023). *Incidencia de la plaga pudrición del cogollo en las exportaciones ecuatorianas de aceite de palma africana, periodo 2018–2021* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional.. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26542>