



Factores explicativos del rendimiento de palma aceitera en la región central sur, Costa Rica

Explanatory Factors for Oil Palm Yield in the Central-South Region, Costa Rica

Olga María Calvo Hernández* <https://orcid.org/0000-0002-6225-3017>

Diego Fernando Quirós Badilla <https://orcid.org/0000-0003-3023-6957> | diego.quirosbadilla@ucr.ac.cr

Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial. Escuela de Economía Agrícola y de Agronegocios.

Sede Rodrigo Facio, San Pedro, San José, Costa Rica.

*Autor de correspondencia: olga.calvo.hernandez@ucr.ac.cr

Recibido: 16 de julio de 2025

Aceptado: 28 de octubre de 2025

Publicado: 05 de noviembre de 2025

Resumen

Objetivo. Identificar los factores determinantes que inciden en el rendimiento de la producción de palma aceitera a nivel regional en Costa Rica. **Materiales y métodos.** Se recolectó información económica-productiva de 32 personas productoras de la región central del sur de Costa Rica, de enero a diciembre de 2023. Se utilizaron pruebas estadísticas de correlación, prueba t para muestras independientes, análisis de varianza y de comparación múltiple para las variables. Se verificaron supuestos de normalidad y homocedasticidad de las variables mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene. Se construyó un modelo de regresión múltiple, al cual le evaluaron supuestos de normalidad, homocedasticidad, multicolinealidad y correlación. La selección del modelo con mejor ajuste se basó en los criterios de información de Akaike y Bayesiano. **Resultados.** El modelo

Abstract

Objective. To identify the determining factors that influence palm oil production performance at the regional level in Costa Rica. **Materials and methods.** Economic and production data were collected from 32 producers in the south-central region of Costa Rica from January to December 2023. Statistical correlation tests, t-tests for independent samples, analysis of variance, and multiple comparisons were used for the variables. The hypotheses of normality and homoscedasticity of the variables were verified using the Shapiro-Wilk and Levene tests. A multiple regression model was constructed, for which the hypotheses of normality, homoscedasticity, multicollinearity, and correlation were evaluated. The selection of the most appropriate model was based on Akaike and Bayesian information criteria. **Results.** The model explained 73 % of the variability in yield, where a larger

explicó el 73 % de la variabilidad del rendimiento, donde una mayor área de siembra favorece la producción, mientras que pendientes pronunciadas y elevados costos de producción inciden de forma negativa. **Conclusiones.** La influencia combinada de factores productivos y territoriales afectan la eficiencia del cultivo en el ámbito regional. La relación observada entre área sembrada, pendiente, costo y rendimiento reafirma la necesidad de integrar criterios agronómicos y económicos en la planificación del cultivo.

Palabras clave

Agricultura, análisis estadístico, productividad, economía agraria.

planted area favors production, while steep slopes and high production costs have a negative impact. **Conclusions.** The combined influence of productive and territorial factors affects crop efficiency at the regional level. The observed relationship between planted area, slope, cost, and yield reaffirms the need to integrate agronomic and economic criteria into crop planning.

Keywords

Agriculture, statistical analysis, productivity, agricultural production.

Introducción

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Jacq) representa el cultivo permanente con mayor extensión de área en Costa Rica y el tercer lugar en términos de producción en toneladas métricas (t) (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2025). Su versatilidad y múltiples usos impulsó un crecimiento acelerado de la producción a nivel global durante las últimas décadas (Mayes, 2020). En Costa Rica, la producción supera las 1.2 millones de toneladas y el área cultivada rebasa las 70 000 hectáreas (ha) (Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense, 2025).

Reconocida como la oleaginosa con mayor productividad (Corley, 2009; Danylo *et al.*, 2021; Hambali y Rivai, 2017), esta puede generar entre tres a ocho veces más aceite por hectárea que otro cultivo de oleaginoso tropical (Barcelos *et al.*, 2015). En Costa Rica, la productividad promedio anual es de 14.37 t/ha de fruta fresca (FF) (Cámara Nacional de Productores de Palma Costa Rica, 2025), valor comparable con las 14 t/ha de FF al año que se obtienen en promedio en pequeñas unidades productivas en Indonesia (Monzon *et al.*, 2023). Este último país muestra rendimientos promedios superiores a las 27 t/ha, con unidades que incluso reportan hasta 40 t/ha de FF/año (Hoffmann *et al.*, 2014).

Con un enfoque que integra la agricultura comercial a gran escala con pequeños sistemas productivos (Murphy *et al.*, 2021), discuten que el sector palmero enfrenta diferentes desafíos, entre ellos distintas problemáticas vinculadas con el impacto ambiental, la sostenibilidad del cultivo, la disponibilidad de mano de obra, el futuro de los biocombustibles y el estancamiento de los rendimientos (Murphy *et al.*, 2021). Estas discusiones ponen de manifiesto la necesidad de explorar mecanismos que incrementen la productividad y permitan evaluar el efecto de diferentes factores sobre el rendimiento del cultivo (Woittiez *et al.*, 2017).

La brecha entre los rendimientos reales y potenciales de la palma aceitera constituye un desafío global. Diversos factores agronómicos, como la nutrición, las podas, el control de malezas y el manejo de la cosecha determinan de manera directa la productividad (Monzon

et al. 2023; Sugianto *et al.*, 2023), sin dejar de lado las condiciones climáticas y edáficas, que también la limitan (Monzon *et al.*, 2021). Aspectos socioeconómicos, como el acceso a insumos, la disponibilidad de asistencia técnica y la participación en cadenas de valor, influyen de forma significativa en el desempeño de los pequeños productores (Euler *et al.*, 2016, 2017). A estas limitaciones se suman plagas, enfermedades, competencia de vegetación, semillas de baja calidad y deficiencias en la fertilización que generan pérdidas importantes en el cultivo (Woittiez *et al.*, 2017).

La literatura también destaca el papel de la densidad de siembra, el riego, la calidad de la semilla y los servicios de extensión (Woittiez *et al.*, 2017; Abdul *et al.*, 2022), así como la gestión administrativa, los períodos de cosecha y la mortalidad de plantas (Euler *et al.*, 2016). Incluso se plantea la expansión del área sembrada como estrategia para incrementar la producción (Woittiez *et al.*, 2017; Charry *et al.*, 2020). Asimismo, la pendiente incide de forma negativa en el rendimiento, al favorecer la escorrentía y la erosión (Balasundram *et al.*, 2006).

En el plano productivo, uno de los principales desafíos consiste en reducir costos para mejorar la eficiencia. Incrementos en los costos de producción afectan de manera negativa el rendimiento del cultivo (Mosquera *et al.*, 2017; 2018). Entre los retos más complejos del sector agrícola destacan la predicción del rendimiento y la identificación de las variables que lo determinan, debido a la alta variabilidad de condiciones dinámicas que limitan la construcción de modelos precisos y aplicables a los contextos productivos (Hilal *et al.*, 2018; Rashid *et al.*, 2021). En este marco, el presente estudio tuvo como objetivo identificar los factores que explican el rendimiento de palma aceitera en la región central sur, de Costa Rica.

Materiales y métodos

La investigación recopiló información entre los meses de enero a diciembre de 2023, mediante la aplicación de una encuesta estructurada a una muestra probabilística de 32 personas productoras de palma aceitera, en la región central sur de Costa Rica. Con predominancia de sistemas de producción intensivos de monocultivo.

Proceso de muestreo y registro de información

En el estudio se utilizó de manera complementaria un registro de datos proporcionado por la Agencia de Extensión Agropecuaria (AEA) de La Gloria, del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), la cual contenía información de personas asociadas a dos entes cooperativos de la región (identificados en esta investigación como C01 y C02), dedicadas al acopio y comercialización de palma aceitera. C01 registraba 21 personas productoras activas con unidades productivas distribuidas (fincas) en los cantones de Puriscal y Turrubares (distritos de Chires y Carara en cada caso). C02 mantenía a 17 sujetos con fincas ubicadas sólo en el distrito de Chires.

Para estimar el tamaño de la muestra se utilizó un muestreo probabilístico estratificado por cooperativa y se aplicó la fórmula de población finita, con el fin de definir el número de personas a entrevistar por cada cooperativa.

$$n = \frac{N(z_{\alpha/2})^2 PQ}{(e^2(N-1)) + ((z_{\alpha/2})^2 PQ)} \quad (1)$$

donde:

n = Tamaño de la muestra de población finita.

N = Población total.

$z_{\alpha/2}$ = Valor de la distribución normal estándar asociado al nivel de significancia.

P = Proporción esperada de la población.

Q = Complemento de P.

e = Error máximo permitido.

Con un nivel de significancia de 0.05, una desviación típica de 1.96, un error de 0.1 y una proporción esperada del 50 %, el cálculo de la muestra determinó 17 personas productoras para C01 y 15 para C02. El equipo de investigación diseñó, revisó y validó un cuestionario junto con el personal de la AEA de La Gloria, con el que se documentó información de 32 personas productoras, que abarcó aspectos económicos, sociales, ganaderos, forestales y diversificación productiva. Además, se registraron rendimientos, densidades de siembra, áreas, costos, mano de obra, insumos, la presencia de plagas y enfermedades propias del cultivo de palma aceitera (cuadro 1). Seguido, se recolectaron los datos a través de visitas de campo o llamadas telefónicas.

Cuadro 1

Resumen de las categorías y variables incluidas de manera previa en el análisis estadístico para la construcción del modelo, 2023

Categoría	VARIABLES
Datos generales	Género, edad, domicilio, ocupación, afiliación, años de afiliación, escolaridad, ubicación y acceso a la finca, área total de la finca, cantidad de miembros familiares, dependientes de la actividad palmera, ingreso familiar, porcentaje que representa la palma del ingreso familiar, entre otros.
Cultivos complementarios	Cultivo, área cultivada, plantas/ha, costo de producción, frecuencia de cosecha, cantidad cosechada, entre otros.
Ganadería	Sistema de explotación, cantidad de animales, modalidad, hectáreas dedicadas a pasto mejorado, entre otras.
Componente forestal	Cantidad de árboles en la finca, proyectos de reforestación, objetivo y fuentes de la reforestación, medidas aplicadas para la protección ambiental.
Cultivo de palma	Años de dedicarse al cultivo, edad de la plantación, renovaciones del cultivo, rendimiento anual por hectárea, densidad de siembra, área dedicada al cultivo, material genético y proveedores, entre otras.

Categoría	Variables
Información de costos (mano de obra e insumos)	Renovaciones, mantenimientos, terrazas, coberturas, barreras vivas, fertilizaciones, enmiendas, combate de malezas, podas, control de plagas y enfermedades, costo/ha, entre otras.
Cosecha	Entrega de la cosecha, contrato de entrega, años de contrato, expectativas, acarreo y transporte de la fruta, entre otros.
Otra información	Servicios contables, alquileres, visitas técnicas, carga financiera (deudas), entre otras.

Análisis estadístico

Con el fin de contrastar el rendimiento medio entre los distritos se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba post hoc de LSD de Fisher. Además, mediante pruebas de correlación de Pearson se analizaron las relaciones entre las variables cuantitativas continuas con el rendimiento. Finalmente, se construyeron diferentes modelos de regresión múltiple, según el fundamento teórico para analizar los factores que influyen en el rendimiento. Como consecuencia del tamaño de la muestra, la cantidad de grados de libertad fue limitada, por lo que sólo se seleccionaron las variables que optimizaron los resultados del modelo. El rendimiento se definió como la variable dependiente y el género, domicilio, rendimiento, área, pendiente y costo por tonelada, como las variables explicativas.

Para todos los casos se verificaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, mientras que, para constatar la homocedasticidad se utilizaron las pruebas de Levene y Breush-Pagan. Se utilizaron pruebas de correlación para detectar posibles problemas de multicolinealidad en el modelo de regresión lineal múltiple; además, se estimó el Factor de Inflación de Varianza (VIF). Los criterios de Información de Akaike (AIC), de Información Bayesiano (BIC) y el coeficiente de determinación (R^2) se utilizaron como mecanismos de comparación de los modelos y fundamentaron la selección de aquel con mayor ajuste. Todas las pruebas y los modelos se ejecutaron a través del software estadístico R Studio Versión 2024.12.0+467.

Si bien la literatura identifica múltiples factores que influyen en el rendimiento de la palma aceitera, como la edad del cultivo, las condiciones climáticas y edafológicas, la nutrición, las podas, el control de malezas, el nivel de conocimiento técnico, entre otras. En este estudio no todas estas variables mostraron una relación estadística significativa con el rendimiento de producción, ya fuera de manera individualizada o modelizada. Por lo que se exhiben, para este caso, los datos y variables del modelo con el mejor ajuste (cuadro 2).

Resultados

Perfil de la muestra

El 71 % de las personas productoras poseía su lugar de residencia (no se refiere a la finca sino a su vivienda habitual) en el distrito de Chires, el 20 % en Carara y el resto en otras zonas. Más del 75 % se dedica a la actividad agrícola como ocupación principal y el 82 %

se encontraba asociado a una entidad cooperativa de la región. La edad promedio de las personas encuestadas estuvo entre los 48 y 64 años, con un predominio de una población mayor de 50 años. El 82 % fueron hombres y la mayoría contaba con primaria completa, y alrededor, de 12 años (en promedio) de experiencia en el cultivo.

Condiciones previas de los factores bajo estudio para el modelo de regresión múltiple

Las mujeres representaron menos de una cuarta parte de las personas dedicadas a la actividad de palma aceitera, en comparación con la cantidad de hombres incluidos en la muestra. El distrito de Chires, en el cantón de Puriscal, concentró la mayor cantidad de domicilios de las personas productoras (cuadro 2). El área promedio de las fincas fue de 8.11 ha y estas presentaron una pendiente media máxima superior al 15 %. El rendimiento por hectárea fue de 8.50 t, menor que el promedio nacional (14.37 t/ha de fruta fresca), mientras que los costos de producción por tonelada oscilaron entre 250 USD (dólares estadunidenses) y 2 400 USD anuales por hectárea (cuadro 2).

Cuadro 2

Descripción de las variables cualitativas y cuantitativas que fueron utilizadas en la estimación del modelo Costa Rica, 2025

Variables cualitativas	Descripción	Cantidad	Porcentaje
Género (n = 32)	Hombre	26	81.25
	Mujer	6	18.75
Domicilio (n = 32)	Chires	23	71.88
	Carara	7	21.88
	Otro	2	6.25
Variables cuantitativas	Unidad de medida	Media	DE
Rendimiento (n = 32)	t/ha/anuales	8.50	5.02
Área de palma (n = 32)	ha de cultivo	8.11	5.31
Pendiente máxima (n = 29)	Porcentaje de inclinación	15.63	9.28
Costo por tonelada (n = 28)	Dólares estadunidenses	283.26	292.54

Todas las variables continuas mostraron una correlación estadística significativa al 5 %, lo que evidenció su relación con el rendimiento. La pendiente y el costo por hectárea registraron coeficientes negativos, de modo que su incremento afecta de manera desfavorable el rendimiento (cuadro 3).

Cuadro 3

Pruebas de correlación del rendimiento con las variables continuas, Costa Rica, 2025

Variable	n	r	Estadístico (t)	gl	p-valor
Área de palma	32	0.44	2.653	30	0.013
Pendiente máxima	29	-0.35	-1.997	28	0.035
Costo por tonelada	28	-0.59	-3.726	26	0.001

La prueba LSD de Fisher, con significancia al 5 %, confirmó que el distrito de Chires ($p=0.03$) se diferencia de los otros dos.

Explicación de la variable dependiente rendimiento en función de las variables regresoras

El modelo mostró un ajuste sólido a pesar del tamaño de la muestra ($n = 32$), este logra explicar el 73 % de la variabilidad presente en el rendimiento. Dada la significancia del modelo, se puede indicar que existe evidencia estadística que permite señalar la presencia de variables independientes que sí logran sustentar cambios en el rendimiento (cuadro 4).

Cuadro 4

Resultados del modelo de regresión lineal múltiple

Variables	Coeficientes	Error estándar	%
Intercepto	9.07	1.64	1
Área de palma	0.50	0.13	1
Pendiente máxima	-0.21	0.08	5
Género			
Mujer	4.21	2.35	10
Domicilio			
Carara	0.87	1.76	—
Otro	5.06	2.42	5
Costo por hectárea	-1.76E-05	4.50E-06	1
n	32		
R ²	0.73		
F	8.62		
F (p-valor)	0.00013		

El área de palma y costo por hectárea ejercen los efectos más relevantes sobre el rendimiento del cultivo, mientras que la pendiente máxima y el distrito otro (variable domicilio), mostraron influencias de menor magnitud. El distrito otro se asoció con mayor rendimiento en comparación con Chires, en tanto que, Carara no presentó diferencias significativas con este.

Un incremento en el costo por hectárea reduce de forma ligera pero no significativa el rendimiento, con una afectación más pronunciada conforme los costos aumentan. De igual manera, mayores porcentajes de pendiente disminuyen la cantidad de FF/ha. Respecto al domicilio, las personas productoras residentes en distritos clasificados como *otro* obtuvieron rendimientos significativos superiores frente a quienes habitan en Chires, mientras que Carara no mostró diferencias significativas.

Discusión

Los resultados de este estudio evidencian que la escala de producción incide de manera significativa en el rendimiento del cultivo. Un mayor número de hectáreas se traduce en incrementos de productividad, lo que coincide con lo señalado por Woittiez *et al.* (2017) y Charry *et al.* (2020), quienes destacan la expansión del área sembrada como estrategia para mejorar la eficiencia productiva. Este comportamiento puede asociarse a los efectos de las economías de escala, dado que la optimización del uso de equipo, mano de obra, transporte e insumos genera mayor eficiencia y dilución de los costos unitarios en áreas agrícolas más extensas (De Roest *et al.*, 2018; Aladesuru *et al.*, 2024). Asimismo, la relación entre área y productividad podría estar vinculada con la mayor vulnerabilidad de las unidades productivas pequeñas frente a plagas, enfermedades y eventos climáticos adversos (Dhillon y Moncur, 2023).

Si bien la expansión del cultivo puede favorecer la economía de las regiones productoras, también plantea cuestionamientos sobre sus externalidades ambientales. La producción de palma aceitera se asocia con procesos de deforestación, pérdida de biodiversidad, deterioro de ecosistemas y agotamiento de suelos (Pérez y Pérez, 2023). En cantones como Osa (Costa Rica), su expansión implicó la sustitución de cobertura natural y pasturas, además de impactos negativos sobre el suelo, el agua, el clima, la dinámica social y económica local (Salas, 2020). Incluso se documentaron presiones sobre áreas protegidas y zonas de amortiguamiento, que en algunos casos fueron reemplazadas por nuevas plantaciones de palma.

En cuanto a las variables analizadas, el estudio constató un efecto negativo de la pendiente sobre el rendimiento, un aumento en los niveles de pendiente reduce la productividad en 0.21 unidades. Este resultado adquiere relevancia considerando que el 38 % de las fincas se ubican en terrenos con pendientes entre 10 y 20 %, y que un 25 % se encuentra en áreas con pendientes superiores a 20 %. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Balasundram *et al.* (2006) y Murtilaksono *et al.* (2011), quienes también identificaron efectos negativos de las pendientes sobre el rendimiento.

En zonas como Osa, donde se cultiva palma aceitera en pendientes superiores a 50 %, se registran costos elevados de siembra, cosecha y mantenimiento, lo que repercute en menores ingresos y productividad (Salas, 2020). De manera similar, Puriscal presenta suelos degradados y pendientes pronunciadas que favorecen la erosión, la pérdida de fertilizantes y reducen la disponibilidad de agua para las plantas, con efectos directos sobre la productividad (Bah *et al.*, 2014; Banabas *et al.*, 2008; Comte *et al.*, 2012). Aunque no es común que la palma aceitera se establezca en estas condiciones, la búsqueda de

alternativas productivas propició su cultivo en zonas poco adecuadas, lo cual se refleja en los datos de esta investigación.

Con relación a los costos, esta variable emergió como un factor crítico y robusto de manera estadística. El modelo evidenció que mayores costos de producción reducen de significativamente el rendimiento, lo cual coincide con lo señalado por Mosquera *et al.* (2017; 2018), quienes demostraron que aumentos en los costos de producción generan caídas proporcionales en la productividad del cultivo. Esto se muestra en armonía con los resultados de este estudio y el comportamiento de la variable de costo de producción.

De manera general y afín a los resultados de esta investigación, conviene resaltar que el tamaño de la muestra toma relevancia a la hora de interpretar los datos en este modelo. Un tamaño de muestra pequeño puede dar lugar a un incremento en la varianza de los coeficientes y, como consecuencia, disminuir la precisión de las estimaciones y limitar la capacidad del modelo para detectar relaciones reales entre el rendimiento y las variables independientes. Por lo que se podría condicionar la representatividad de los hallazgos, dado que el número de casos incluidos puede que no refleje la realidad completa del sector a nivel regional.

Cabe destacar que, la gran variabilidad observada en los costos y rendimientos, junto con el tamaño reducido de la muestra se reflejaron como limitantes importantes de este estudio. Condiciones como estas pueden hacer que el modelo sea sensible a valores atípicos y restringir la generalización de los hallazgos; sin embargo, la significancia estadística obtenida en variables clave como, el costo de producción, confirma la solidez la tendencia identificada. Es esencial resaltar que los resultados de esta investigación deben ser entendidos como un análisis preliminar y exploratorio del comportamiento de la producción de palma aceitera en la región central sur de Costa Rica, por lo que es importante que sea verificado y reforzado en investigaciones posteriores que contemplen mayor número de observaciones e incluso otras regiones, con la finalidad principal de optimizar la información generada.

Pese a esta limitante, la significancia estadística que se obtuvo en variables, como el costo de producción, demuestra congruencia con el efecto identificado, lo que otorga validez a la tendencia descrita. Los resultados presentados constituyen un análisis preliminar y exploratorio sobre el comportamiento de la producción de palma aceitera en la región central sur de Costa Rica. Estos deben interpretarse a la luz del contexto territorial regional, reconociendo que las particularidades edafológicas y topográficas condicionan el comportamiento del cultivo y limitan la comparación directa de esta investigación con estudios desarrollados en ambientes más favorables. Se recomienda que estos hallazgos sean corroborados y fortalecidos en futuras investigaciones, con el propósito de verificar la validez y alcance de la información generada.

Es necesario subrayar que Puriscal y Turrubares presentan condiciones edáficas y topográficas particulares con suelos Inceptisoles y Ultisoles, además de pendientes que alcanzan hasta 64° (Comité Directivo Territorio Central Sur e INDER, 2025), lo que difiere por mucho de las condiciones óptimas recomendadas para la producción de palma aceitera (suelos profundos y porosos, con pendientes menores al 2%) (Ramírez *et al.*,

2017). Estas características locales podrían explicar por qué algunas relaciones obtenidas en el modelo divergen de lo reportado en la literatura especializada.

Conclusiones

Los resultados de este estudio evidenciaron que el rendimiento del cultivo de palma aceitera está influenciado de manera significativa por distintas variables. El área sembrada y la pendiente del terreno reflejaron una relación estadística directa con el rendimiento. Un aumento en el área cultivada se asocia con un incremento en la producción por hectárea, mientras áreas de siembra con pendientes más pronunciadas con un menor rendimiento por hectárea. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de optimizar el uso del área cultivada, mitigar los efectos de la topografía desfavorable y controlar los costos de producción para mejorar el rendimiento del cultivo de palma aceitera a nivel local.

Agradecimientos

A las personas productoras de palma aceitera de la región central sur por su disponibilidad para participar de este estudio. Al personal técnico de la Agencia de Extensión de La Gloria, Ministerio de Agricultura y Ganadería, por su ayuda en la logística. A la maestra Luz Barrantes Aguilar de la Escuela de Economía Agrícola y Agronegocios de la Universidad de Costa Rica, por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

Literatura citada

- Abdul, I.; Wulan Sari, D.; Haryanto, T. y Win, T. (2022). Analysis of factors affecting the technical inefficiency on Indonesian palm oil plantation. *Sci. Rep.* 12(1): 3381
- Aladesuru, D.; Cechura, L.; Neuenfeldt, S.; Kuhn, T.; Kristkova, Z.; Kroupová, Z.; Ratinger, T.; Gocht, A.; Müller, M. y Storm, H. (2024). Impacts of agricultural production decisions on the safe and just operating space: A systematic literature review. *Q. Open.* 2024: qoae027.
- Bah, A.; Husni, M.; Teh, C.; Rafii, M., Syed, O. y Ahmed, O. (2014). Reducing Runoff Loss of Applied Nutrients in Oil Palm Cultivation Using Controlled-Release Fertilizers. *Adv. Agric.* 2014(1): 1-9.
- Balasundram, S.; Robert, P.; Mulla, D. y Allan, D. (2006). Relationship between oil palm yield and soil fertility as affected by topography in an Indonesian plantation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37(9-10): 1321-1337.
- Banabas, M.; Turner, M.; Scotter, D. y Nelson, P. (2008). Losses of nitrogen fertiliser under oil palm in Papua New Guinea: 1. Water balance, and nitrogen in soil solution and runoff. *Soil Res.* 46(4): 332-339.
- Barcelos, E.; Rios, S.; Cunha, R.; Lopes, R.; Motoike, S.; Babiyuchuk, E.; Skirycz, A. y Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Front. Plant Sci.* 6: 190.
- Cámara Nacional de Productores de Palma Costa Rica. (2025). *Historia de la palma en Costa Rica.* <https://canapalma.cr/historia.php> (Consultada 14 de junio 2025).
- Charry, A.; Vélez, A.; Romero, M.; Ivanova, Y.; Tristán, M.; Lema, S.; Sánchez, J.; Orjuela, F. y Jäger, M. (2020). *Estrategia integral para el fortalecimiento del plan de competitividad de la cadena de palma aceitera en Ucayali 2020-2030.* <https://cgospace.cgiar.org/items/3cd31ecf-ca71-4243-baa6-4f08b3d7d4c0> (Consultada 02 junio 2025).
- Comité Directivo Territorio Central Sur e INDER. (2025). *Plan de Desarrollo rural Territorial 2024-2030.* <https://www.inder.go.cr/wp-content/uploads/2025/08/PDRT-Puriscal-Turubares-Mora-Santa-Ana.pdf> (Consultado 02 junio 2025).

- Comte, I.; Colin, F.; Whalen, J.; Grünberger, O. y Caliman, J. (2012). Chapter three - Agricultural practices in oil palm plantations and their impact on hydrological changes, nutrient fluxes and water quality in Indonesia: A review. *Adv. Agron.* 116: 71-124.
- Corley, R. (2009). How much palm oil do we need? *Environ. Sci. Policy.* 12(2): 134-139.
- Danylo, O.; Pirker, J.; Lemoine, G.; Ceccherini, G.; See, L.; McCallum, I.; Hadi, M.; Kraxner, F.; Achard, F. y Fritz, S. (2021). A map of the extent and year of detection of oil palm plantations in Indonesia, Malaysia and Thailand. *Sci Data.* 8(1): 96.
- De Roest, K.; Ferrari, P. y Knickel, K. (2018). Specialisation and economies of scale or diversification and economies of scope? Assessing different agricultural development pathways. *J. Rural Stud.* 59: 222-231.
- Dhillon, R. y Moncur, Q. (2023). Small-scale farming: A review of challenges and potential opportunities offered by technological advancements. *Sustain.* 15(21): 15478.
- Euler, M.; Hoffmann, M.; Fathoni, Z. y Schwarze, S. (2016). Exploring yield gaps in smallholder oil palm production systems in eastern Sumatra, Indonesia. *Agric. Syst.* 146: 111-119.
- Euler, M.; Krishna, V.; Schwarze, S.; Siregar, H. y Qaim, M. (2017). Oil palm adoption, household welfare, and nutrition among smallholder farmers in Indonesia. *World Dev.* 93: 219-235.
- Hambali, E. y Rivai, M. (2017). The potential of palm oil waste biomass in Indonesia in 2020 and 2030. *Environ. Earth Sci.* 65: 012050.
- Hilal, Y.; Ishak, W.; Yahya, A. y Asha'ari, Z. (2018). Development of genetic algorithm for optimization of yield models in oil palm production. *Chil. J. Agric. Res.* 78(2): 228-237.
- Hoffmann, M.; Castaneda A.; Wijk, M.; Giller, K.; Oberthür, T.; Donough, C. y Whitbread, A. (2014). Simulating potential growth and yield of oil palm (*Elaeis guineensis*) with PALMSIM: Model description, evaluation and application. *Agric. Syst.* 131: 1-10.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Resultados: Encuesta Nacional Agropecuaria.* <https://inec.cr/estadisticas-fuentes/encuestas/encuesta-nacional-agropecuaria?page=2> (Consultada 22 mayo 2025).
- Mayes, S. (2020). The history and economic importance of the oil palm. En: M. Ithnin y A. Kushairi, *The Oil Palm Genome*. Springer Nature Switzerland AG. Pp. 1-8.
- Monzon, J.; Slingerland, M.; Rahutomo, S.; Agus, F.; Oberthür, T.; Andrade, J.; Couëdel, A.; Rattalino, J.; Hekman, W.; Beuken van den, R.; Hidayat, F.; Pradiko, I.; Purwantomo, D.; Donough, C.; Sugianto, H.; Lim, Y.; Farrell, T. y Grassini, P. (2021). Fostering a climate-smart intensification for oil palm. *Nat. Sustain.* 4(7): 595-601.
- Monzon, J.; Lim, Y.; Tenorio, F.; Farrasati, R.; Pradiko, I.; Sugianto, H.; Donough, C.; Rattalino, J.; Rahutomo, S.; Agus, F.; Slingerland, M.; Zijlstra, M.; Saleh, S.; Nashr, F.; Nurdwiansyah, D.; Ulfaria, N.; Winarni, N.; Zulhakim, N. y Grassini, P. (2023). Agronomy explains large yield gaps in smallholder oil palm fields. *Agric. Syst.* 210: 103689.
- Mosquera, M.; Valderrama, M.; Ruiz, E.; López, D.; Castro, L.; Fontanilla, C. y González, M. (2017). Costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma en 2015: estimación en un grupo de productores colombianos. *Palmas.* 38(2): 10-26.
- Mosquera, M.; Valderrama, M.; Ruiz, E.; López, D.; Castro, L. y González, M. (2018). Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Palmas.* 39(2): 13-26.
- Murphy, D.; Goggin, K. y Paterson, R. (2021). Oil palm in the 2020s and beyond: Challenges and solutions. *CABI agric. biosci.* 2(1): 39.
- Murtilaksono, K.; Oarmosarkoro, W.; Sutarta, E.; Siregar, H.; Hidayat, Y. y Yusuf, A. (2011). Feasibility of Soil and Water Conservation Techniques on Oil Palm Plantation. *Agrivita.* 33: 63-69.
- Pérez, H. y Pérez, M. (2023). Does the oil palm (*Elaeis guineensis*) generate a negative impact on the soil? A review. *Agron. Mesoam.* 34(1).
- Ramírez, F.; Piedra, L.; Morales, V. y Orozco, M. (2017). *Manual de buenas prácticas agrícolas ambientales para el cultivo de palma aceitera.* <https://repositorio.una.ac.cr/items/ffafece6-05ea-47f2-8703-0f8bb0812c1f> (Consultada 30 mayo 2025).

- Rashid, M.; Bari, B.; Yusup, Y.; Kamaruddin, M. y Khan, N. (2021). A comprehensive review of crop yield prediction using machine learning approaches with special emphasis on palm oil yield prediction. *IEEE Access*. 9:63406-63439.
- Salas, D. (2020). Cambios en la superficie sembrada de palma aceitera en el cantón de Osa, Puntarenas. Período 2014-2018. *RGAC*. 2(65): 93-119.
- Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense. (2025). *Estadísticas del sector agropecuario costarricense. Reportes de área y producción*. <https://moduloestadistico.infoagro.go.cr/estadisticas/areaproduccion/reportes> (Consultada 22 mayo 2025).
- Sugianto, H.; Monzon, J.; Pradiko, I.; Tenorio, F.; Lim, Y.; Donough, C.; Sunawan.; Rahutomo, S.; Agus, F.; Cock, J.; Amsar, J.; Farrasati, R.; Iskandar, R.; Rattalino J.; Saleh, S.; Santoso, H.; Tito, A.; Ulfaria, N.; Slingerland, M. y Grassini, P. (2023). First things first: Widespread nutrient deficiencies limit yields in smallholder oil palm fields. *Agric. Syst.* 210: 103709.
- Woittiez, L.; Wijk van, M.; Slingerland, M.; Noordwijk van, M. y Giller, K. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *Eur. J. Agron.* 83: 57-77.