

Dinámicas del comercio de aceite de palma colombiano en mercados internacionales: un enfoque gravitacional

Aníbal Alfonso Arrázola Navarro¹
Universidad del Sinú
coordinadorinvestigacionfacultadceac@unisinu.edu.co

Manuel Antonio Pérez Vázquez²
Universidad del Sinú
manuelperezv@unisinu.edu.co

DOI:

Fecha de recepción: 23 de junio de 2025

Fecha de aprobación: 08 de septiembre de 2025



Cómo citar este artículo: Arrázola Navarro, A.A.; Pérez Vázquez, M.A. (2025). Dinámicas del comercio de aceite de palma colombiano en mercados internacionales: un enfoque gravitacional. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (99), (páginas). DOI:

Resumen

El modelo gravitacional del comercio resulta importante al analizar la dinámica competitiva del aceite de palma colombiano en los mercados internacionales, en un contexto de expansión productiva impulsada por estrategias de colaboración público-privada. Mediante un enfoque positivista y cuantitativo, se utilizan datos del período 2011-2023 y estimaciones por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para evaluar la incidencia de factores económicos, geográficos, culturales y administrativos sobre el desempeño exportador. El aporte central de este estudio radica en la adaptación del modelo gravitacional a un sector agrícola estratégico para la economía colombiana, identificando patrones de comercio basados en afinidades culturales y proximidad geográfica, elementos poco explorados en estudios previos sobre el comercio internacional de productos agrícolas. Los resultados muestran que el modelo explica el 61,5 % de la variabilidad de las exportaciones, revelando una mayor propensión de Colombia a establecer relaciones comerciales con países hispanohablantes, fronterizos o cercanos, lo cual tiene implicaciones estratégicas significativas. A partir de estos hallazgos, se destaca la necesidad de que tanto las empresas exportadoras como los responsables de políticas públicas implementen estrategias de internacionalización diferenciadas según el mercado: sostenibilidad y certificaciones para la Unión Europea, eficiencia logística hacia Norteamérica y cooperación productiva con socios latinoamericanos. Estas estrategias fortalecen la capacidad de las empresas para competir y posicionarse eficazmente en los mercados globales, al tiempo que contribuyen a superar las barreras culturales, logísticas y administrativas.

Palabras clave: aceite de palma; exportaciones; mercados globales; análisis econométrico; modelo gravitacional, flujo comercial.

¹Coordinador de Investigaciones, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables. Universidad del Sinú, Colombia. Magíster en Negocios Globales. Universidad El Bosque. Magíster en Educación. Universidad Sergio Arboleda. Especialista en Gestión de Proyectos. Universidad Libre. Profesional en Negocios Internacionales. Universidad del Magdalena. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4673-2710>

²Docente Investigador, Programa de Negocios Internacionales. Universidad del Sinú, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3234-6260>

Dynamics of Colombia's Palm Oil Trade in International Markets: A Gravity Model Approach

Abstract

The gravity model of trade plays a significant role in analyzing the competitive dynamics of Colombia's palm oil in international markets, within a context of production expansion driven by public-private collaboration strategies. Using a positivist and quantitative approach, this study employs data covering the period 2011–2023 and applies Ordinary Least Squares (OLS) estimations to assess the influence of economic, geographical, cultural, and administrative factors on export performance. The main contribution of this research lies in adapting the gravity model to the strategic agricultural sector of the Colombian economy and identifying trade patterns based on cultural affinities and geographical proximity, elements that have received limited attention in previous studies on international agricultural trade. The findings indicate that the model explains 61.5% of the variability in exports, revealing a greater tendency for Colombia to establish trade relationships with neighboring, geographically proximate, or Spanish-speaking countries, with significant strategic implications. Based on these findings, the study highlights the need for both exporting firms and policymakers to implement differentiated internationalization strategies according to target markets: sustainability standards and certifications for the European Union, logistics efficiency strategies for North American markets, and productive cooperation initiatives with Latin American partners. These strategies strengthen firms' capacity to compete and achieve effective positioning in global markets, while helping overcome cultural, logistical, and administrative barriers.

Keywords: Palm oil; exports; global markets; econometric analysis; gravity model; trade flows.

1. Introducción

En los últimos 20 años, la agroindustria del aceite de palma en Colombia ha transitado de un enfoque orientado al mercado interno hacia una estrategia de inserción internacional más definida. Según López y Téllez (2018), para el 2017 el sector alcanzó un punto de equilibrio al destinar el 50 % de su producción al mercado nacional, y el 50 % restante a la exportación. Este proceso de internacionalización fue impulsado por la expansión de las hectáreas cultivadas, la mejora en las técnicas agrícolas y la adopción de certificaciones de sostenibilidad, lo que fortaleció la competitividad del sector frente a los mercados globales.

Desde 2016, Colombia se consolidó como el cuarto productor mundial de aceite de palma, con una producción de 1,65 millones de toneladas (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [Fedepalma], 2024; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023; Raynaud Prado *et al.* (2024). Este desempeño responde no solo al aumento de la productividad, sino también a tres factores clave: i) la certificación ambiental y social de los

cultivos (RSPO), que ha favorecido el acceso a mercados sostenibles como el europeo; ii) la diversificación de destinos hacia Europa, Estados Unidos y América Latina y; iii) la inserción en acuerdos comerciales que reducen barreras arancelarias.

Pese a estos avances, el sector enfrenta desafíos estructurales que limitan su competitividad: la concentración del mercado global en Indonesia y Malasia, las restricciones financieras para la innovación tecnológica y las percepciones internacionales sobre sus impactos ambientales (Tandra *et al.*, 2025; Khaskheli y Zhao, 2025; Shan y Yan, 2025). Estas condiciones evidencian la necesidad de comprender qué factores económicos, geográficos e institucionales determinan la capacidad exportadora del aceite de palma colombiano, a fin de orientar políticas y estrategias que fortalezcan su posición en el comercio global.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar los factores determinantes de las exportaciones de aceite de palma colombiano mediante la aplicación del modelo gravitacional del comercio internacional. Desde el punto de vista teórico, busca validar la pertinencia del modelo de gravedad como marco explicativo para un producto agroindustrial de alto peso en la economía nacional. En el plano empírico, se plantean los siguientes objetivos específicos: i) cuantificar la relación entre las variables del modelo gravitacional y el volumen de exportaciones de aceite de palma colombiano; ii) examinar cómo los factores geográficos, institucionales y culturales interactúan condicionado la dinámica exportadora del sector palmicultor y; iii) proponer estrategias de políticas públicas que fortalezcan la competitividad y sostenibilidad de las exportaciones de aceite de palma colombiano.

El modelo gravitacional resulta pertinente porque permite integrar los factores geográficos y económicos en la medición de la competitividad comercial. Según Tinbergen (1962) y Pöyhönen (1963), el comercio bilateral entre dos países depende directamente del tamaño de sus economías e inversamente de la distancia entre ellas. Su aplicación al caso colombiano aporta una perspectiva integral sobre cómo la localización geográfica, la estructura institucional y los vínculos culturales condicionan la inserción del aceite de palma en los mercados internacionales.

En consecuencia, este estudio contribuye tanto a la comprensión teórica del comercio agrícola en economías emergentes como a la formulación de estrategias de política pública orientadas a la sostenibilidad y la diversificación exportadora. Los resultados servirán de referencia para empresarios, asociaciones y organismos gubernamentales interesados en consolidar el posicionamiento del aceite de palma colombiano, fortalecer su contribución al PIB nacional y mejorar su desempeño competitivo frente a los grandes productores asiáticos.

2. Revisión de literatura

2.1. Contexto histórico del modelo gravitacional y sus aplicaciones en el mercado internacional

El modelo gravitacional del comercio, inspirado en la ley de gravitación universal de Newton (1687) y adaptado por Tinbergen (1962), se ha consolidado como una de las herramientas más robustas para explicar los flujos comerciales internacionales. Su principio central plantea que el intercambio entre dos economías depende positivamente de su tamaño (PIB) y negativamente de la distancia que las separa. Posteriores aportes de Anderson (1979) y Bergstrand (1985) refinaron su formulación teórica al incorporar barreras comerciales, costos de transacción y políticas arancelarias. Deardorff (1998) y Baldwin y Taglioni (2006) ampliaron su alcance al integrar factores culturales, lingüísticos y de infraestructura, confirmando su adaptabilidad a distintos contextos.

En América Latina, las aplicaciones del modelo han privilegiado enfoques descriptivos y agregados. Bolívar Caro *et al.* (2019) evidenciaron que la cercanía geográfica y los lazos culturales determinan la intensidad comercial de Colombia; Arrieta-Olascoaga (2018) y Munayco Calderón y Rodríguez Muñante. (2023) identificaron al PIB y los acuerdos comerciales como impulsores del comercio en los sectores textil y cacaotero, respectivamente. En el caso del aceite de palma, Gómez Parada y González Sarmiento (2015) mostraron un desempeño exportador positivo, pero irregular, con limitada penetración internacional.

En la frontera reciente del conocimiento, el modelo ha sido refinado mediante la incorporación de nuevas dimensiones analíticas, Flach y Unger (2022) introducen la calidad de los productos como margen adicional de ajuste; Besedeš *et al.* (2024) destacan el papel de los costos logísticos y de transporte; y Ali *et al.* (2022) evidencian el efecto de la gobernanza y la estabilidad institucional sobre el comercio bilateral. Estas contribuciones amplían el poder explicativo del modelo y refuerzan su pertinencia para el análisis de sectores agroindustriales exportadores.

La literatura demuestra la solidez del modelo, pero también la escasez de estudios sectoriales que integren simultáneamente variables económicas, logísticas e institucionales. En este sentido, el presente estudio busca contribuir a llenar esta brecha aplicando el modelo gravitacional al comercio internacional del aceite de palma colombiano entre 2011 y 2023, con el fin de identificar los determinantes clave de su competitividad y orientar estrategias de inserción sostenible en los mercados globales.

2.2. La agroindustria: oportunidades de desarrollo sostenible del aceite de palma en Colombia

La agroindustria del aceite de palma en Colombia constituye un sector estratégico para la diversificación productiva y la sostenibilidad territorial. Más allá de su relevancia como fuente de aceite vegetal para consumo humano e industrial, representa una oportunidad para vincular el desarrollo rural, la innovación tecnológica y la gestión ambiental. El país dispone de cerca de 23 millones de hectáreas con distintos niveles de idoneidad para el cultivo, de las cuales solo el 2,3 % se encuentra actualmente en uso, lo que evidencia un potencial subutilizado que puede aprovecharse sin generar procesos de deforestación (Mesa-Dishington, 2018).

El crecimiento del sector ha sido respaldado por una estructura institucional sólida, liderada por Fedepalma y Cenipalma, y por una demanda internacional sostenida. Iniciativas como el Programa de Aceite de Palma Sostenible de Colombia han promovido un modelo productivo orientado a estándares ambientales, sociales y de calidad, con el fin de posicionar la imagen del país en los mercados globales (Mesa-Dishington, 2021). Sin embargo, la expansión del

sector enfrenta desafíos estructurales relacionados con la baja diversificación, la dependencia de precios internacionales y la rigidez financiera (Gallardo Sánchez y Vallejo Zamudio, 2019).

En este contexto, la literatura subraya la importancia de articular la competitividad con la sostenibilidad institucional. Diversos autores coinciden en que las políticas de inversión y subsidios o incentivos de sostenibilidad bien dirigidos generan efectos positivos sobre la productividad agrícola y el desarrollo rural (Khafagy y Vignani, 2022; Khaskheli y Zhao, 2025). De forma complementaria, Kang *et al.* (2023) evidencian que la certificación de calidad y las prácticas sostenibles dependen de factores socioeconómicos y de gobernanza local, lo que plantea retos para su adopción efectiva. Por su parte, Bahruddin *et al.* (2024) enfatizan que la sostenibilidad de los *commodities* requiere esquemas de gobernanza flexibles y adaptados a los contextos territoriales, donde las relaciones de poder y las coaliciones de actores condicionan la efectividad de las políticas ambientales.

La experiencia colombiana refleja la necesidad de avanzar hacia modelos de gobernanza multiescalar que integren innovación, certificación y cooperación público-privada. En este sentido, los estándares voluntarios de sostenibilidad (EVS) se consolidan como mecanismos esenciales para fortalecer la transparencia, la trazabilidad y la confianza en los mercados internacionales (García-Bonilla *et al.*, 2023). No obstante, la expansión sostenible del cultivo no depende solo de la ampliación del área cultivada, sino de la capacidad del sector para institucionalizar prácticas de sostenibilidad verificable y generar valor agregado a través de la investigación, la diversificación y la certificación.

Esto evidencia dos rutas complementarias: la expansión productiva basada en innovación y financiamiento, y la transición hacia esquemas de sostenibilidad certificada que garanticen la competitividad global del aceite de palma colombiano. El desafío estratégico radica en equilibrar rentabilidad y sostenibilidad, articulando políticas agrícolas, instrumentos financieros y gobernanza ambiental como pilares de un modelo de desarrollo rural inclusivo y competitivo.

2.3. Competitividad en el comercio internacional: el caso del aceite de palma

La competitividad internacional del aceite de palma es multicausal y exige un análisis que supere las explicaciones convencionales centradas solo en tamaño económico y distancia. Estudios recientes como el de Ruzekova *et al.* (2020), muestran que, además de la gobernanza, los incentivos orientados a la sostenibilidad impulsan el comercio y la inversión; y según Khaskheli y Zhao (2025), la certificación depende de determinantes socioeconómicos locales (tamaño de la finca, capital social y extensión agraria) que condicionan su adopción y efectos (Kang *et al.*, 2023).

A su vez, la competitividad agrícola es cada vez más sensible a factores tecnológicos y logísticos, como argumentan Suroso *et al.* (2023) y Zhou *et al.* (2025), la infraestructura digital simplifica el comercio e incrementa sustantivamente los volúmenes exportados, mientras que los retrasos en la cadena de suministro introducen *shocks* que reducen la persistencia de los flujos comerciales (Alessandria *et al.*, 2023). En mercados concentrados como el del aceite de palma (dominado por Indonesia y Malasia mayoritariamente) las fluctuaciones de precios y la estructura de la demanda redistribuyen las cuotas de mercado, lo que requiere estrategias de diversificación geográfica y de producto (Lugo Arias *et al.*, 2024; Tandra *et al.*, 2022, 2025).

La evidencia empírica sugiere que la competitividad del aceite de palma depende de la interacción entre (i) calidad institucional e incentivos de sostenibilidad; (ii) adopción de certificaciones condicionadas por factores locales; (iii) digitalización y facilitación comercial; (iv) resiliencia logística frente a *shocks* y; (v) una dinámica de precios internacionales. Por tanto, las políticas efectivas deben integrar instrumentos de gobernanza multiescalar, apoyo a la adopción de certificaciones y mejoras en la infraestructura digital y logística, para traducir el potencial productivo en ventajas comerciales sostenibles.

2.4. Políticas comerciales y su influencia en el comercio global del aceite de palma

Las políticas comerciales estructuran los flujos internacionales de bienes y servicios, condicionando tanto la competitividad como la sostenibilidad de los sistemas productivos. Diversos autores coinciden en que su efectividad depende de la apertura económica, la estabilidad institucional y la coherencia regulatoria. Lloyd y Marín (2024) y Anderson (2023) destacan que los acuerdos de libre comercio y las reformas regulatorias facilitan un intercambio más equilibrado, mientras que su inestabilidad genera incertidumbre en los mercados agrícolas.

Desde una visión más amplia, Bemelmans *et al.* (2023) y Zhou *et al.* (2025) subrayan que las políticas comerciales deben alinearse con los objetivos de sostenibilidad global, evitando que el crecimiento del PIB se produzca a costa de impactos ambientales adversos. En la misma línea, Khaskheli y Zhao (2025) sostienen que los incentivos de sostenibilidad económica fortalecen la inversión y el comercio internacional, reforzando el papel del sector agrícola como motor del desarrollo rural.

En el caso del aceite de palma, se evidencia su alta sensibilidad ante cambios regulatorios y logísticos. Alessandria *et al.* (2023) advierten que los retrasos en las cadenas de suministro alteran significativamente los flujos comerciales, mientras que Adhikari *et al.* (2023) confirman que la proximidad entre socios, las políticas estables y el crecimiento económico estimulan los intercambios. Asimismo, Zhou *et al.* (2025) muestran que una mejora del 1 % en la facilitación del comercio puede aumentar en más de 8 % el volumen del comercio agrícola, siendo el comercio electrónico un factor decisivo.

En síntesis, la política comercial es un determinante estructural del comercio global del aceite de palma, su estabilidad regula la dinámica de los mercados, su alineación con la sostenibilidad refuerza la competitividad y su modernización tecnológica optimiza los flujos. En consecuencia, los países productores requieren marcos regulatorios coherentes, sostenibles y digitalmente integrados que garanticen certidumbre y posicionamiento en los mercados internacionales.

3. Marco teórico

3.1. Evolución teórica y estructural del comercio internacional: fundamentos, modelos y políticas

Las teorías clásicas del comercio internacional sentaron las bases para comprender el intercambio entre naciones, pero también evidencian limitaciones frente a las dinámicas contemporáneas. Smith (1776) introdujo la ventaja absoluta, centrada en la eficiencia productiva, mientras que Ricardo (1817) formuló la ventaja comparativa, que explica los beneficios del comercio incluso entre economías con diferentes niveles de productividad. Sin embargo, ambos enfoques asumen mercados competitivos y ausencia de fricciones, condiciones poco realistas en la economía actual.

Los aportes posteriores ampliaron esta visión. El modelo Heckscher-Ohlin incorporó la dotación factorial como base del comercio, mientras que Samuelson y Jones (1948) introdujeron el papel de la movilidad de factores, anticipando debates sobre desigualdad y especialización. El modelo gravitacional de Tinbergen (1962) y Pöyhönen (1963) transformó el análisis empírico al demostrar que el comercio bilateral depende del tamaño económico y la distancia geográfica.

La nueva teoría del comercio internacional de Krugman (1980) y la economía geográfica incorporaron economías de escala, diferenciación de productos y localización industrial, explicando los flujos comerciales entre países similares y la concentración productiva en ciertos territorios. Este enfoque, complementado por la teoría del comercio estratégico, introdujo la intervención estatal como medio para crear ventajas competitivas dinámicas (Krugman, 1986, 1997).

En la actualidad, las perspectivas de Baldwin y Taglioni (2006) y Head y Mayer (2014) integran los efectos de las cadenas globales de valor, la innovación y la sostenibilidad, reconociendo que el comercio ya no se explica solo por ventajas productivas, sino también por factores institucionales, tecnológicos y ambientales.

El comercio del aceite de palma se comprende como el resultado de una interacción compleja entre dotaciones productivas, políticas públicas y sostenibilidad. Así, las teorías clásicas aportan los fundamentos, pero los enfoques contemporáneos permiten interpretar cómo la competitividad agrícola se redefine en un contexto global marcado por la digitalización, las cadenas de suministro y la transición hacia un comercio sostenible.

4. Metodología

En el marco del paradigma positivista, que sustenta que el discernimiento procede de la práctica empírica (según Bryman, 2016, este puede ser medido y cuantificado), se acogió el enfoque cuantitativo para la investigación de los flujos comerciales internacionales. Este enfoque permite la medición precisa y la evaluación objetiva de variables, facilitando la generalización de los resultados a partir de muestras representativas (Creswell, 2014). Con este propósito, se utilizaron métodos econométricos avanzados, incluyendo el modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), para aplicar del modelo de gravedad del comercio internacional y analizar las relaciones entre las variables (ver ecuación 1).

Para abordar problemas de heterocedasticidad, multicolinealidad y no normalidad en los residuos, se implementó un modelo de regresión ponderada, en el cual se asignaron pesos inversamente proporcionales a la varianza de los residuos. Esto significa que se otorgó un menor peso a las observaciones con varianzas mayores, y mayor peso a aquellas con varianzas menores, lo que contribuye a mejorar la eficiencia y precisión de las estimaciones y ajustar el modelo a la heterocedasticidad observada (Greene, 2018).

No obstante, se reconoce la posible presencia de sesgo por endogeneidad, frecuente en los modelos de comercio internacional, debido a la posible correlación entre variables explicativas. Aunque no se aplicaron métodos de corrección como variables instrumentales o estimadores GMM, su uso futuro podría fortalecer la validez de los resultados.

Adicionalmente, se empleó el uso de una transformación logarítmica en la variable dependiente (ver ecuación 2). Esta ayudó a que los residuos de la regresión se distribuyeran de manera más cercana a una distribución normal y a mitigar los problemas asociados con la

heterocedasticidad. En este proceso se realizó un análisis exhaustivo de los residuos para asegurar la validez de las inferencias estadísticas mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y se verificó la heterocedasticidad utilizando el de Breusch-Pagan y el de White (ver anexo 1). Además, se analizó la multicolinealidad (ver anexo 2) de las variables independientes mediante el cálculo del factor de inflación de varianza (VIF), que ayuda a identificar problemas de multicolinealidad y a asegurar que los supuestos del modelo se cumplan adecuadamente (Greene, 2018).

El análisis se involucró en las exportaciones correspondientes a la partida arancelaria 1511 durante el período 2011-2023, abarcando un total de 14 países importadores donde se aplicó el modelo de mínimos cuadrados ordinarios para estimar las exportaciones, empleando las variables del modelo de gravedad que se muestran en la tabla 1. Las ecuaciones empleadas para el modelado se presentan a continuación, proporcionando una base sólida para evaluar y entender las dinámicas de comercio en el contexto estudiado.

Tabla 1. Dimensiones y variables del modelo de gravedad del comercio internacional

Países importadores	Años de estudio	Dimensiones	Variables	Tipo de variable	Fuente
<i>n (a - b):</i> Brasil México Holanda EE. UU. República Dominicana España Alemania Chile Argentina Guyana Japón Reino Unido Australia Trinidad y Tobago	<i>t (1 - 13)</i>	Económica	Y: exportaciones de aceite de palma (Colombia)	Continua	TradeMap
			X ₁ : importaciones de aceite de palma del socio comercial provenientes de la competencia	Continua	
			X ₂ : Producción nacional	Continua	Fedepalma
			X ₃ : producto interno bruto - PIB (per cápita) de Colombia	Continua	Banco Mundial
			X ₄ : producto interno bruto - PIB (per cápita) de los socios comerciales	Continua	
			Geográfica	X ₅ : población de Colombia	Continua
		X ₆ : población de los socios comerciales		Continua	
		X ₇ : distancia en kilómetros		Continua	Geodatos
		X ₈ : área		Continua	The Truesize
		X ₉ : frontera común		Continua	Sinomap pres & publishing houses
		X ₁₀ : acceso al océano			
		X ₁₁ : precio internacional del AP		Continua	Fedepalma
		X ₁₂ : producción internacional		Continua	Fedepalma
		Cultural	X ₁₃ : idioma	Dicotómicas (<i>dummy</i>)	Naciones Unidad
Administrativas	X ₁₄ : acuerdos comerciales	Dicotómicas (<i>dummy</i>)	Ministerio del Comercio, Industria y Turismo		

Nota. La tabla detalla la relación entre las dimensiones, variables del modelo de gravedad del comercio internacional y las fuentes de información en relación con los países objeto de estudio que alimentaron el panel de datos.

Fuente. Elaboración propia.

La clasificación de las variables en continuas, dicotómicas (*dummy*) permite identificar la naturaleza de cada componente del modelo de gravedad, facilitando la estimación mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y la verificación de supuestos estadísticos como la homocedasticidad, la normalidad de los residuos y la ausencia de multicolinealidad. Esta caracterización favorece la validación interna de los resultados y la interpretación adecuada de los coeficientes estimados.

(1)

$$\begin{aligned}
 Y_{t(1-13)n(a-b)} = & \beta_0 + \beta_1 X_{1t(1-13)n(a-b)} + \beta_2 X_{2t(1-13)n(a-b)} + \beta_3 X_{3t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_4 X_{4t(1-13)n(a-b)} + \beta_5 X_{5t(1-13)n(a-b)} + \beta_6 X_{6t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_7 X_{7t(1-13)n(a-b)} + \beta_8 X_{8t(1-13)n(a-b)} + \beta_9 X_{9t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_{10} X_{10t(1-13)n(a-b)} + \beta_{11} X_{11t(1-13)n(a-b)} + \beta_{12} X_{12t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_{13} X_{13t(1-13)n(a-b)} + \beta_{14} X_{14t(1-13)n(a-b)} + \epsilon_{t(1-13)n(a-b)}
 \end{aligned}$$

(2)

$$\begin{aligned}
 & \text{Log}(Y_{t(1-13)n(a-b)} + c) \\
 = & \beta_0 + \beta_1 X_{1t(1-13)n(a-b)} + \beta_2 X_{2t(1-13)n(a-b)} + \beta_3 X_{3t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_6 X_{6t(1-13)n(a-b)} + \beta_7 X_{7t(1-13)n(a-b)} + \beta_8 X_{8t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_9 X_{9t(1-13)n(a-b)} + \beta_{11} X_{11t(1-13)n(a-b)} + \beta_{12} X_{12t(1-13)n(a-b)} \\
 & + \beta_{13} X_{13t(1-13)n(a-b)} + \beta_{14} X_{14t(1-13)n(a-b)} + \epsilon_{t(1-13)n(a-b)}
 \end{aligned}$$

5. Resultados

5.1. Resultados econométricos del modelo de gravedad

A partir de la información recopilada para cada una de las variables listadas en la tabla 1, se aplicó el modelo de MCO, que responden a la ecuación (1). Luego, se abordaron problemas de heterocedasticidad y multicolinealidad mediante la implementación de un modelo de regresión ponderada, que ajustó las observaciones en función de su varianza. Además, se realizó una transformación logarítmica en la variable dependiente para estabilizar la varianza

y mejorar la normalidad de los residuos. Las variables explicativas X_4 , X_5 y X_{10} fueron excluidas del análisis debido a la alta evidencia de multicolinealidad que presentaban, lo que origina la ecuación (2).

Tabla 2. Resultados del MCO para las exportaciones de aceite de palma: relación de destinos y factores asociados basado en el modelo de gravedad de Tinbergen (2011-2023)

Residuales					
Mínimo	1Q	Mediana	3Q	Máximo	
-69.231	-0.7200	-0.0471	0.9515	33.790	
Coeficientes					
Variable	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr(> t)	Significancia
(Intercepto)	-3,72804	4,30591	-0,866	0,387852	
X_1	0,25235	0,02177	11,593	< 2e-16	***
X_2	0,47516	0,44604	1,065	0,288293	
X_3	0,03158	0,16688	0,189	0,85012	
X_6	-0,28403	0,2081	-1,365	0,174143	
X_7	-0,12155	0,03554	-3,42	0,000787	***
X_8	0,01196	0,05522	0,216	0,828868	
X_9	4,47813	0,56122	7,979	2,3e-13	***
X_{11}	0,10951	1,49146	0,073	0,941557	
X_{12}	0,81199	1,00137	0,811	0,418592	
X_{13}	1,90813	0,27921	6,834	1,5e-10	***
X_{14}	0,28208	0,30964	0,911	0,363618	
Métrica			Valor		
<i>Error estándar residual</i>			1,521 en 166 grados de libertad		
<i>R-cuadrado múltiple</i>			0,6157		
<i>R-cuadrado ajustado</i>			0,5902		
<i>Estadístico F</i>			24,18 en 11 y 166 DF		
<i>p-valor</i>			< 2.2e-16		

Fuente. Elaboración propia, con cálculos a partir del programa estadístico RStudio.

Teniendo en cuenta los resultados del modelo presentados en la tabla 2, los residuales muestran una distribución que varía desde un mínimo de -6.92 hasta un máximo de 3.37. La distribución de los residuales revela una mediana cercana a cero (-0.047), con el primer cuartil en -0.72 y el tercer cuartil en 0.95. Aunque la mayoría de los residuales están

relativamente cerca del valor esperado, la presencia de algunas observaciones con residuales bastante grandes puede sugerir desviaciones de la normalidad. No obstante, Casella y Berger (2002) explican en su libro *Statistical Inference* que, en el contexto de grandes muestras, las pruebas de normalidad pueden identificar desviaciones menores que no necesariamente indican problemas graves con el modelo, sino que podrían ser características inherentes a volúmenes de datos muy extensos. Por lo tanto, a pesar de las desviaciones observadas, el modelo sigue siendo válido y útil para la predicción, ya que el tamaño de la muestra atenúa la relevancia de estas desviaciones menores en la estimación y ajuste del modelo.

En cuanto a los coeficientes, aquellos con valores p menores a 0,05 se consideran significativos estadísticamente, como se indica con asteriscos (***) en la tabla. En particular, las variables X_1 , X_7 , X_9 y X_{13} presentan una fuerte significancia estadística con p-valores muy bajos, lo que indica que tienen un impacto significativo en el modelo.

Los coeficientes correspondientes a X_2 , X_3 , X_6 , X_8 , X_{11} , X_{12} y X_{14} no muestran significancia estadística en el modelo, ya que presentan p-valores superiores a 0,05. Esto sugiere que los efectos de estas variables sobre la variable dependiente no son suficientemente robustos para ser considerados significativos.

La falta de significancia estadística en algunas variables, no implica la ausencia de relevancia teórica, sino posibles limitaciones estructurales del comercio del aceite de palma. La producción nacional (X_2) puede destinarse principalmente al mercado interno, lo cual restringe su efecto sobre las exportaciones, en coherencia con la visión de Krugman (1980) sobre los flujos comerciales condicionados por la estructura productiva interna. Del mismo modo, el PIB de Colombia (X_3) y la población (X_6) responden a dinámicas domésticas con menor incidencia en la demanda externa, lo que coincide con los planteamientos de Tinbergen (1962) y Pöyhönen (1963), quienes demostraron que los flujos bilaterales se explican más por el tamaño económico relativo entre países que por las condiciones internas de uno solo.

La variable área geográfica (X_8) refleja un efecto limitado, dado que el tamaño territorial no necesariamente determina la intensidad comercial, sino los costos de transporte y

localización industrial, en línea con la nueva economía geográfica propuesta por Krugman (1997). En cuanto al precio internacional y la producción global (X_{11} - X_{12}), su falta de significancia puede responder a efectos compensatorios entre ambos indicadores, reflejando la rigidez de la oferta global descrita y la volatilidad (Tandra *et al.*, 2022). Finalmente, los acuerdos comerciales (X_{14}) pueden no mostrar efectos inmediatos debido a la existencia de barreras no arancelarias o mercados ya consolidados, tal como advierten Baldwin y Taglioni (2006) sobre la gradualidad de los impactos de la integración comercial.

Los resultados sugieren que la dinámica exportadora colombiana del aceite de palma depende más de factores geográficos y culturales como la distancia, la frontera común y el idioma, que, de variables macroeconómicas tradicionales, lo cual es consistente con los supuestos del modelo gravitacional de Tinbergen (1962) y las ampliaciones propuestas por Deardorff (1998) y Baldwin y Taglioni (2006).

Por otro lado, el modelo presenta un error estándar residual de 1,52 con 166 grados de libertad, lo que refleja la variabilidad promedio de los errores de predicción. El R-cuadrado múltiple del modelo es de 0,615, mientras que el R-cuadrado ajustado es de 0,59; estos valores indican que alrededor del 61,5 % de la variabilidad en la variable (Y) es explicada por el modelo. Además, el valor F de 24,18 sugiere que el modelo es en general útil para predecir la variable dependiente, dado que existe una diferencia significativa entre la variabilidad explicada y la no explicada. Finalmente, el p-valor extremadamente bajo (menor a $2,2e-16$) confirma que esta diferencia es estadísticamente significativa, indicando que es muy improbable que el valor F observado se deba al azar.

5.2. Resultados espaciales del comercio de aceite de palma

El mapa de flujos comerciales del aceite de palma colombiano muestra una marcada concentración de exportaciones hacia América Latina, la UE y Estados Unidos, regiones que concentran los mayores volúmenes comercializados. En la figura 1 se observa una alta densidad de flujos hacia países vecinos y hacia aquellos que comparten afinidades lingüísticas y culturales, lo cual respalda los resultados del modelo de gravedad, especialmente en las variables de distancia geográfica, frontera común e idioma compartido.

En contraste, los mercados más distantes presentan una menor participación, reflejando las limitaciones logísticas y los mayores costos de transporte, identificados econométricamente como barreras al comercio. Estos resultados espaciales permiten visualizar la estructura y direccionalidad del comercio exterior colombiano, reforzando la validez empírica del modelo y evidenciando cómo los factores geográficos y culturales continúan condicionando la inserción del país en el mercado global del aceite de palma.

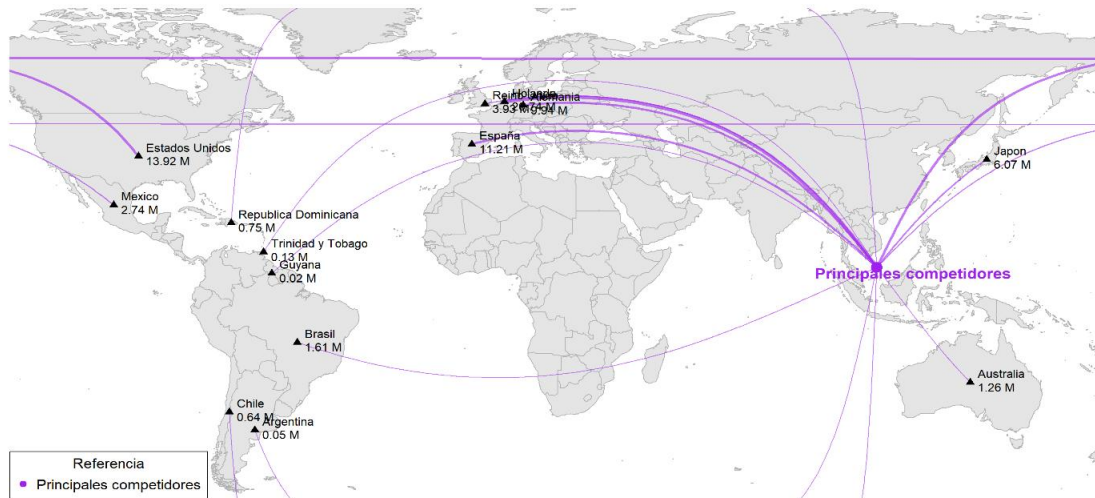
Durante el período 2011-2023, los países que importaron aceite de palma desde Colombia mantuvieron una alta dependencia de las exportaciones provenientes de Indonesia y Malasia. Este comportamiento refleja que el aceite de palma colombiano compite directamente con los flujos asiáticos en los mismos mercados de destino, lo que limita la participación relativa de Colombia en el comercio global del producto (ver figura 1 y 2).

Figura 1. Flujo promedio de exportaciones de aceite de palma desde Colombia (2011-2023)



Fuente. Elaboración propia, a partir de análisis de datos realizado en RStudio.

Figura 2. Flujo promedio de importaciones de aceite de palma desde el sudeste asiático (Indonesia, Malasia y Tailandia) entre 2011 y 2023



Fuente. Elaboración propia, a partir de análisis de datos de los principales socios comerciales de aceite de palma, realizado en RStudio.

6. Discusión

Teniendo en cuenta los resultados previamente obtenidos, a continuación, se relacionan los coeficientes dentro del marco del modelo de gravedad de Tinbergen, aplicado al comercio de aceite de palma de Colombia. Esto permitió establecer factores clave, como el volumen de compra (X_1), la distancia geográfica (X_7), la presencia de una frontera común (X_9) y el idioma compartido (X_{13}), que afectan las exportaciones [$\log(Y)$]. Estos hallazgos subrayan la relevancia del modelo de gravedad para comprender las dinámicas comerciales en este contexto específico.

(3)

$$X_1 = 0,252^{***}$$

En cuanto al volumen de compra de los socios comerciales (X_1), los resultados indican una relación positiva y estadísticamente significativa con las exportaciones colombianas de aceite de palma. En términos cuantitativos, por cada incremento de una unidad en el volumen de

compra (100 000 toneladas), las exportaciones aumentan en 0,252 mil toneladas, lo que evidencia una elasticidad de oferta sensible a la demanda internacional. Este comportamiento refleja la fuerte dependencia del mercado colombiano respecto a la demanda de la Unión Europea, Estados Unidos y América Latina, donde las condiciones logísticas y los acuerdos comerciales facilitan el flujo de exportaciones (Alessandria *et al.*, 2023; Tandra *et al.*, 2025).

No obstante, la respuesta a la demanda está condicionada por los límites estructurales de la producción, aunque Colombia ocupa el cuarto lugar mundial en producción de aceite de palma, su capacidad productiva dista de los niveles de los principales exportadores asiáticos. En la UE, además, la creciente orientación hacia importaciones sostenibles exige inversiones en capital y tecnología agrícola, coherentes con el modelo de factores específicos de Samuelson y Jones (1948). En 2019, apenas el 19 % de la producción nacional (unas 350 000 toneladas de un total de 1,8 millones) provenía de cultivos certificados (Gómez, 2020, citado en Arrazola y Pertuz, 2025). Lo que reafirma la necesidad de financiamiento y políticas de incentivo para cerrar la brecha de sostenibilidad (Bahruddin *et al.*, 2024; Kang *et al.*, 2023; Khafagy y Vignani, 2022).

Esta necesidad se intensifica al considerar que la demanda mundial de aceite de palma presenta una tendencia estructural creciente y, de acuerdo con Srisawasdi *et al.* (2023), podría aproximarse a los 240 millones de toneladas en las próximas décadas, lo que impone requerimientos crecientes de inversión en productividad, certificación y sostenibilidad para cumplir con los estándares internacionales del mercado.

(4)

$$X_7 = - 0,121^{***}$$

En contraste con otras variables, la distancia geográfica (X_7) muestra un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre las exportaciones colombianas de aceite de palma. Por cada incremento de 1000 kilómetros en la distancia entre Colombia y su socio comercial, las exportaciones se reducen en 0,121 mil toneladas, lo que confirma la presencia de barreras logísticas y de transporte que limitan la inserción en mercados distantes (Linneman, 1966;

Pöyhönen, 1963; Tinbergen, 1962). Este resultado se alinea con la evidencia contemporánea que destaca la persistencia de los costos logísticos como limitante al comercio internacional, incluso en un contexto de alta interconectividad global (Alessandria *et al.*, 2023; Besedeš *et al.*, 2024).

En particular, las exportaciones hacia destinos como Australia, Japón y el Reino Unido reflejan los altos costos de transporte y la complejidad operativa de las cadenas de suministro. No obstante, estudios recientes como el de Ali *et al.* (2022) y Flach y Unger (2022), sugieren que una mejor gobernanza comercial y la diferenciación por calidad pueden atenuar el impacto de la distancia sobre el flujo de exportaciones, planteando la necesidad de estrategias que fortalezcan la competitividad logística y la certificación sostenible del aceite de palma colombiano.

(5)

$$X_9 = 4,478^{***}$$

La variable frontera común (X_9) presenta un efecto positivo y altamente significativo, lo que confirma que la proximidad geográfica sigue siendo un determinante estructural del comercio bilateral (Linneman, 1966; Tinbergen, 1962). La existencia de fronteras compartidas entre Colombia y sus socios latinoamericanos facilita los flujos comerciales al reducir costos de transporte y tiempos logísticos, generando un aumento promedio de 4,47 mil toneladas en las exportaciones de aceite de palma. Este resultado se alinea con la lógica de aglomeración productiva y cooperación territorial planteada por Becattini (2002), que refuerza la competitividad en espacios económicos contiguos.

Asimismo, la evidencia reciente de Tandra *et al.* (2025) muestra que la integración fronteriza puede traducirse en un mayor dinamismo económico, especialmente en países con alta dependencia del comercio agrícola. En contraste, Alessandria *et al.* (2023) advierten que las disrupciones en las cadenas de suministro global tienden a incentivar una regionalización del comercio, lo que fortalece la relevancia de los mercados contiguos y de corto alcance logístico. En este sentido, la cercanía territorial no solo reduce los costos transaccionales, sino que aumenta la resiliencia comercial y refuerza la sostenibilidad del flujo exportador colombiano.

(6)

$$X_{13} = 1,908^{***}$$

El idioma compartido (X_{13}) muestra un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre las exportaciones de aceite de palma, con un incremento estimado de 1,90 mil toneladas. Este resultado evidencia que las afinidades lingüísticas reducen los costos de transacción y fortalecen la cooperación institucional, aspectos que facilitan la fluidez comercial (Pöyhönen, 1963; Tinbergen, 1962). En el contexto latinoamericano, la homogeneidad idiomática entre Colombia y países como México, República Dominicana o Chile contribuye a una integración comercial más eficiente, especialmente en sectores donde la trazabilidad y los estándares de sostenibilidad requieren una comunicación constante entre productores y compradores.

Sin embargo, la influencia del idioma no opera de manera aislada. Desde la teoría del comercio estratégico, Krugman (1986) plantea que la acción estatal mediante incentivos o acuerdos bilaterales puede amplificar los efectos de la afinidad cultural en el comercio. En esta línea, Khaskheli y Zhao (2025) evidencian que la cooperación regulatoria entre países con vínculos culturales fortalece la sostenibilidad comercial, mientras que Shan y Yan (2025) demuestran que la simplificación del comercio en marcos regionales impulsa los flujos agrícolas sostenibles al reducir barreras institucionales. Así, la proximidad lingüística, cuando se articula con políticas públicas de integración, actúa como un catalizador del comercio sostenible y de la competitividad agroexportadora de Colombia.

En coherencia con la discusión de los resultados obtenidos, se presentan a continuación las estrategias derivadas del modelo gravitacional, orientadas a guiar la formulación de políticas públicas y decisiones empresariales en torno a la sostenibilidad y la diversificación comercial del sector palmero.

Tabla 3. Estrategias propuestas para fortalecer la competitividad y sostenibilidad de las exportaciones

Variable	Estimación	Estrategia derivada (implicación de política pública)
Volumen de compra (X_1)	Relación positiva (0,252)	Diversificar mercados mediante certificaciones sostenibles alineadas con la UE y EE. UU., respaldadas por incentivos económicos para la certificación de cultivos.
Distancia geográfica (X_7)	Efecto negativo y significativo (-0,121)	Fortalecer la infraestructura portuaria y promover un sistema logístico multimodal que optimice el transporte interno y marítimo, reduciendo costos y mejorando la competitividad de las exportaciones de aceite de palma colombiano.
Frontera común (X_9)	Efecto positivo (4,478)	Promover la cooperación transfronteriza y acuerdos bilaterales enfocados en la coordinación logística, transferencia de buenas prácticas y estándares sostenibles, para fortalecer los flujos regionales de aceite de palma y consolidar la competitividad del sector en países vecinos de menor producción.
Idioma compartido (X_{13})	Efecto positivo (1,908)	Fortalecer alianzas comerciales con países vecinos de habla hispana mediante la armonización de estándares de sostenibilidad, facilitando la integración regional y el intercambio eficiente de aceite de palma, sin que ello implique competencia directa entre productores locales.

Fuente. Elaboración propia.

7. Conclusiones

El análisis del modelo de gravedad aplicado al comercio de aceite de palma de Colombia permitió identificar y cuantificar los factores estructurales que inciden en su dinámica exportadora, evidenciando su correspondencia con los objetivos de la investigación, centrados en explicar la influencia de las variables geográficas, económicas e institucionales sobre el comercio internacional del sector.

El efecto positivo del volumen de compra de los aliados comerciales de los competidores confirma la capacidad de adaptación del país a las condiciones del mercado global, particularmente en la Unión Europea, Estados Unidos y América Latina. Este hallazgo cumple con el objetivo de cuantificar la relación entre las variables del modelo gravitacional y el volumen exportado, en coherencia con los postulados de Smith (1776) sobre la ventaja comparativa. En la misma línea, Mosquera y López (2017) destacan que el fortalecimiento de la capacidad productiva mediante políticas de sostenibilidad para pequeños productores es fundamental para consolidar esa ventaja, mientras que Tandra *et al.* (2025) demuestran que

el comercio con países sin frontera terrestre puede impulsar el PIB per cápita, reforzando la necesidad de mejorar la conectividad marítima de Colombia.

La distancia geográfica se confirma como una barrera logística significativa que limita las exportaciones, dando cumplimiento al objetivo de examinar cómo los factores espaciales, institucionales y culturales condicionan la dinámica exportadora. Este resultado coincide con Bolívar Caro *et al.* (2019), quienes evidencian la alta sensibilidad del comercio colombiano frente a la distancia y la preferencia por mercados con afinidades culturales. Tales resultados refuerzan la urgencia de políticas orientadas a modernizar la infraestructura logística y portuaria para reducir los costos de transporte y fortalecer la inserción internacional.

La proximidad geográfica, la frontera común y el idioma compartido emergen como elementos que facilitan el intercambio comercial al disminuir los costos de transacción y fortalecer la confianza institucional. Estos hallazgos respaldan la nueva geografía económica de Krugman (1986), que resalta la importancia de las economías de escala y la integración regional. En esta línea, Arrieta-Olascoaga (2018) enfatiza que los acuerdos comerciales deben acompañarse de políticas activas de diversificación y promoción exportadora, mientras que Khaskheli y Zhao (2025) subrayan que la cooperación regulatoria entre países con afinidades culturales fortalece la sostenibilidad de las prácticas comerciales.

En correspondencia con el objetivo de proponer estrategias orientadas al fortalecimiento de la competitividad, los resultados sugieren priorizar la modernización portuaria y logística, promover certificaciones sostenibles alineadas con los estándares europeos y consolidar alianzas regionales basadas en afinidades culturales y regulatorias. Estas acciones permitirían incrementar la competitividad del aceite de palma colombiano y reducir su vulnerabilidad frente a las barreras geográficas y de sostenibilidad.

Los resultados confirman que la dinámica exportadora del aceite de palma colombiano depende principalmente de factores geográficos, institucionales y estructurales, más que de variables macroeconómicas tradicionales. Ello evidencia que la competitividad del sector requiere estrategias diferenciadas según el mercado: sostenibilidad y certificaciones para la

Unión Europea, eficiencia logística hacia Norteamérica y cooperación productiva con socios latinoamericanos, cumpliendo integralmente el objetivo general del estudio.

Metodológicamente, el modelo de gravedad demuestra su pertinencia para analizar productos agroexportadores con alta dependencia logística, y teóricamente amplía la comprensión de cómo los factores institucionales y culturales se entrelazan con las ventajas comparativas clásicas. Futuros estudios podrían incorporar dimensiones ambientales e institucionales más amplias para evaluar cómo la sostenibilidad productiva incide en la consolidación de nuevas rutas de exportación.

8. Referencias

- Adhikari, S., Poudel, D. & Gopinath, M. (2023). Is policy greasing the wheels of global palm oil trade? *Research on World Agricultural Economy*, 4(2), 62-77. <https://doi.org/10.36956/rwae.v4i2.859>
- Alessandria, G., Khan, S. Y., Khederlarian, A., Mix, C. & Ruhl, K. J. (2023). The aggregate effects of global and local supply chain disruptions: 2020-2022. *Journal of International Economics*, 146, 103788. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2023.103788>
- Ali, N. A., Bakar, N. A. & Bakar, N. (2022). Does governance wax or wane the bilateral trade of Pakistan? An application of gravity model. *International Journal of Professional Business Review*, 7(6), e0805. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2022.v7i6.e805>
- Anderson, J. E. (1979). A theoretical foundation for the gravity equation. *The American Economic Review*, 69(1), 106-116. <http://www.jstor.org/stable/1802501>
- Anderson, K. (2023). Agriculture's globalization: endowments, technologies, tastes and policies. *Journal of Economic Survey*, 37(4), 1314-1352. <https://doi.org/10.1111/joes.12529>
- Arrazola, A. y Pertuz, G. (2025). Evaluación del programa de sostenibilidad palmera en Colombia: pertinencia para el sector productivo y competitividad internacional. *Revista Internacional de Desarrollo Humano y Sostenibilidad*, 2(1), 49-72. <https://doi.org/10.51660/ridhs21235>

- Arrieta-Olascoaga, L. A. (2018). *Contexto y aplicación de un modelo gravitacional a las exportaciones del sector textil-confecciones en el departamento de Antioquia, 2007-2016*. [Tesis para optar al título de Magíster en Economía Aplicada]. Universidad EAFIT. <http://hdl.handle.net/10784/12580>
- Bahrudin, R., Macdonald, K., Diprose, R. & Delgado Pugley, D. (2024). Scaling-up sustainable commodity governance through jurisdictional initiatives: Political pathways to sector transformation in the Indonesian palm oil sector. *World Development*, 176, 106504. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106504>
- Baldwin, R. & Taglioni, D. (2006). *Gravity for dummies and dummies for gravity equations*. National Bureau of Economic Research. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w12516/w12516.pdf
- Becattini, G., (2002). Del distrito industrial marshalliano a la «teoría del distrito» contemporánea. Una breve reconstrucción crítica. *Investigaciones Regionales*, (1), 9-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28900101>
- Bemelmans, J, Curzi, D. Olper, A. & Maertens, M. (2023). Trade effects of voluntary sustainability standards in tropical commodity sectors, *Food Policy*, 118, 102440. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102440>
- Bergstrand, J. H. (1985). The gravity equation in international trade: some microeconomic foundations and empirical evidence. *The Review of Economics and Statistics*, 67(3), 474-481. <https://doi.org/10.2307/1925976>
- Besedeš, T., Chu, J. & Murshid, A. P. (2024). Fly the unfriendly skies: The role of transport costs in gravity models of trade. *Journal of International Economics*, 152, 103994. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2024.103994>
- Bolívar Caro, L. M., Cruz García, N. y Pinto Torres, A. (2019). Modelo gravitacional del comercio internacional colombiano, 1991-2012. *Economía & Región*, 9(1), 245-270. <https://revistas.utb.edu.co/economiayregion/article/view/100>
- Bryman, A. (2016). *Social reseach methods* (4th ed.). Oxford University Press. https://archive.org/details/socialresearchme0000brym_o2i8

Casella, G. & Berger, R. L. (2002). *Statistical inference* (2nd ed.). Duxbury.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3th ed.). SAGE Publications.

https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf

Deardorff, A. V. (1998). Determinants of bilateral trade: does gravity work in a neoclassical world? In J. A. Frankel (Ed.), *The regionalization of the world economy* (pp. 7-32). University of Chicago Press. <http://www.nber.org/system/files/chapters/c7818/c7818.pdf>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - Fedepalma. (2024). *¡Récord histórico! La producción de aceite de palma en Colombia supera expectativas en 2023*. El Palmicultor. <https://elpalmicultor.com/sector-palmero-colombiano-buen-balance-2023/>

Flach, L. & Unger, F. (2022). Quality and gravity in international trade. *Food Policy*, 137, 103578. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2022.103578>

García-Bonilla, D. A., Rodríguez-Guevara, E. G. y Pineda-Ospina, D. L. (2023). Dimensiones de análisis de los estándares voluntarios de sostenibilidad en el comercio internacional agroindustrial. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación - RIDI*, 13(2), 233-246. <https://doi.org/10.19053/20278306.v13.n2.2023.16830>

Gallardo Sánchez, C. F. y Vallejo Zamudio, L. (2019). Política comercial y evolución del sector externo en Colombia 1970-2016. *Apuntes del Cenes*, 38(67), 123-155. <https://doi.org/10.19053/01203053.v38.n67.2019.8935>

Gómez Parada, E. J. y González Sarmiento, G. (2015). Comportamiento del aceite de palma de Colombia en los principales mercados de exportación. *Revista Le Bret*, (7), 283-305. <https://doi.org/10.15332/rl.v0i7.1528>

Greene, W. H. (2018). *Econometric analysis* (8th ed.). Pearson Education.

Head, K. & Mayer, T. (2014). Gravity equations: workhorse, toolkit, and cookbook. In G. Gopinath, E. Helpman, & K. Rogoff (Eds.), *Handbook of international economics* (pp. 131-195). Elsevier. http://www.cepii.fr/pdf_pub/wp/2013/wp2013-27.pdf

- Kang, S. J., Frick, F., Sidhoum, A. A., Sauer, J. & Zheng, S. F. (2023). Does food quality certification improve eco-efficiency? Empirical evidence from Chinese vegetable production. *Food Policy*, 121, 102564. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102564>
- Khafagy, A. & Vignani, M. (2022). Technical change and the common agricultural policy. *Food Policy*, 109, 102267. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102267>
- Khaskheli, M. B. & Zhao, Y. (2025). The sustainability of economic and business practices through legal cooperation in the era of the hainan free trade port and southeast asian nations. *Sustainability*, 17(5), 2050. <https://doi.org/10.3390/su17052050>
- Krugman, P. (1980). Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. *American Economic Review*, 70(5), 950-959. <https://share.google/fxksKC894UXJ4eAWk>
- Krugman, P. (1986). *Strategic trade policy and the new international economics*. MIT Press.
- Krugman, P. (1997). *Desarrollo, geografía y teoría económica*. Antoni Bosch editor.
- Linnemann, H. (1966). *An econometric study of international trade flows*. North-Holland Publishing Company.
- Lloyd, S. P. & Marin, E. A. (2024). Capital controls and trade policy. *Journal of International Economics*, 151, 103965. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2024.103965>
- López, J. y Téllez Clavijo, M. (2018). *Poligrow avanza con su proyecto sostenible de palma de aceite en Mapiripán*. El Palmicultor. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/12465>
- Lugo Arias, E., Lugo-Arias, J., Vargas, S. B., de la Puente Pacheco, M. A., Borre Granados, I., Barraza Heras, C. & Triana Hernández, D. (2024). Determinants of the competitiveness of world palm oil exports: a cointegration analysis. *Transnational Corporations Review*, 16(3), 200063. <https://doi.org/10.1016/j.tncr.2024.200063>
- Mesa-Dishington, J. (2018). La palma de aceite en Colombia: una agroindustria dinámica y con gran potencial de desarrollo. *Palmas*, 39(3), 37-41. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/145254>

- Mesa-Dishington, J. (2021). Reflexiones sobre la gremialidad palmera: historia, desafíos y oportunidades. *Palmas*, 42(3), 86-94.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13585>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *La palma de aceite colombiana en cifras, balance 2022 y retos 2023*. <https://agronet.gov.co/noticias/la-palma-de-aceite-colombiana-en-cifras-balance-2022-y-retos-2023>
- Mosquera, M. y López, D. (2017). Aceite de palma certificado sostenible: análisis de la cadena de valor. *Palmas*, 38(1), 11-25.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12042>
- Munayco Calderón, M. del P. y Rodríguez Muñante, L. A. (2023). Modelo gravitacional de las exportaciones de cacao en grano del Perú. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(n.º esp. 9), 215-233. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e9.14>
- Newton, I. (1687). *Philosophie naturalis principia mathematica*. Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater.
- <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/1072/1058/3479-1>
- Pöyhönen, P. (1963). A tentative model for the volume of trade between countries. *Weltwirtschaftliches Archiv*, 90, 93-100. <http://www.jstor.org/stable/40436776>
- Raynaud Prado, N., Alvares, C. V. y Torres, C. A. (2024). Tendencias de producción de aceite de palma en Colombia como enfoque a la competitividad. *Visión Internacional (Cúcuta)*, 13(1).
<https://doi.org/10.22463/27111121.5273>
- Ricardo, D. (1817). *The works and correspondence of David Ricardo: volume I: on the principles of political economy and taxation*. Liberty Fund.
- Ruzekova, V., Kittova, Z. & Steinhauser, D. (2020). Export performance as a measurement of competitiveness. *Journal of Competitiveness*, 12(1), 145-160.
<https://doi.org/10.7441/joc.2020.01.09>
- Samuelson, P. A. & Jones, R. W. (1948). Specific and mobile factors in international trade. *Journal of Political Economy*, 56(3), 243-258.

- Shan, S. & Yan, Y. (2025). Trade facilitation and sustainable agricultural trade in the RCEP: empirical evidence from China's heterogeneous impacts. *Sustainability*, 17(17), 7640. <http://doi.org/10.3390/su17177640>
- Smith, A. (1776). *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*. Methuen & Co., Library of Economics and Liberty.
- Srisawasdi, W., Tsusaka, T. & Cortes, J. (2023). Palm oil trade and production toward achieving sustainable development goals: a global panel regression analysis. *ABAC Journal*, 43(3). 98-111. https://www.researchgate.net/publication/372169310_Palm_Oil_Trade_and_Production_Toward_Achieving_Sustainable_Development_Goals_A_Global_Panel_Regression_Analysis
- Suroso, A. I., Fahmi, I., Tandra, H. & Haryono, A. (2023). Assessing the effect of internet indicators on agri-food export competitiveness. *Economies*, 11(10), 246. <https://doi.org/10.3390/economies11100246>
- Tandra, H., Mahendri, I. G. A.P., Sujianto, S., Rifai, B., Salim, Z., da Silva, H. & Pujiharti, Y. (2025). The impact of trade with border effect on GDP per capita: global evidence. *Economies*, 13(6), 174. <https://doi.org/10.3390/economies13060174>
- Tandra, H., Suroso, A. I., Syaukat, Y. & Najib, M. (2022). The determinants of competitiveness in global palm oil trade. *Economies*, 10(6), 132. <https://doi.org/10.3390/economies10060132>
- Tinbergen, J. (1962). *Shaping the world economy; suggestions for an international economic policy*. Books (Jan Tinbergen). Twentieth Century Fund. <http://hdl.handle.net/1765/16826>
- Zhou, J., Kafeel, K., Khan, S., Zhang, S. & Suplata, M. (2025). *Will reducing the service trade barrier improve environmental performance in OECD countries?* Environment, Development and Sustainability. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06054-1>

Anexos

Anexo 1. Resultados verificación de supuestos

Prueba	Modelo/Datos	Estadístico	Grados de libertad (df)	Valor p
Breusch Pagan	Modelo ajustado sin X_4 , X_5 , X_{10}	17,29	11	0,09957
White	Modelo ajustado sin X_4 , X_5 , X_{10}	17,29	11	0,09957
Shapiro Wilk de Normalidad	Residuos Transformados	0,99347	—	0,6139

Fuente. Elaboración propia, con cálculos a partir del programa estadístico RStudio.

Anexo 2. Resultados del valor de inflación de la varianza

Variable	X_1	X_2	X_3	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
VIF	1,55	2,54	1,61	2,65	1,93	2,68	1,64	1,10	2,62	1,37	1,62

Fuente. Elaboración propia, con cálculos a partir del programa estadístico RStudio.