

# Factores determinantes de la productividad agroindustrial en Boyacá: Tecnología, clima y desigualdad territorial en perspectiva Nacional

## Determinants of agro-industrial productivity in Boyacá: Technology, climate, and territorial inequality in the National context




DOI: <https://doi.org/10.17981/econcuc.Org.6645>

Artículo de Investigación científica y tecnológica

Fecha de recepción: 21/08/2025  
 Fecha de devolución: 26/09/2025  
 Fecha de aceptación: 10/10/2025  
 Fecha de publicación: 13/10/2025

**María Isabel Rojas-Triana** 

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
 Tunja, Boyacá (Colombia)  
[maria.rojas03@uptc.edu.co](mailto:maria.rojas03@uptc.edu.co) 

**Oscar Eduardo Vergel-Mendieta** 

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
 Tunja, Boyacá (Colombia)  
[Oscar.vergel@uptc.edu.co](mailto:Oscar.vergel@uptc.edu.co)

Para citar este artículo:

Rojas-Triana, M. I., y Vergel-Mendianta, O. E. (2025). Factores determinantes de la productividad agroindustrial en Boyacá: Tecnología, clima y desigualdad territorial en perspectiva Nacional. *Económicas CUC*, 46(2), e226645. <https://doi.org/10.17981/econcuc.Org.6698>

JEL: Q16, O18, Q12, R11, Q01.

### Resumen

La producción agrícola colombiana es diversa pero desigual, con alta concentración económica en pocos territorios y una estructura exportadora vulnerable, especialmente en Boyacá, donde se muestra un elevado índice de Gini agropecuario que limita la competitividad y sostenibilidad del sector. El objetivo de este estudio fue analizar los factores determinantes de la tecnificación de los procesos productivos agrarios en Boyacá y su comparativa nacional; partiendo del desafío estructural que enfrenta Colombia en términos de baja productividad, desigualdad territorial y retos de sostenibilidad; identificando en qué medida las condiciones agroecológicas, la desigualdad socioeconómica y el acceso a infraestructura y tecnología explican el desempeño agroindustrial departamental, tomando como variable dependiente el PIB agroindustrial. Se implementó un diseño de investigación mixto con enfoque explicativo-secuencial, combinando modelos cuantitativos de ANCOVA y regresión múltiple con un estudio de caso cualitativo en Boyacá basado en análisis documental. Los resultados muestran que la tecnificación agroindustrial es clave para elevar la productividad, pero su efecto depende de las disparidades territoriales y las condiciones agroecológicas. El ANCOVA evidencia que el clima incide significativamente en el PIB agroindustrial, siendo las zonas templadas y frías las más productivas. La regresión múltiple revela que la desigualdad interna se asocia positivamente con mayor PIB agroindustrial, reflejando un crecimiento concentrado en polos con mejor infraestructura y capital, mientras amplias áreas permanecen rezagadas. En Boyacá, esta dinámica se manifiesta en bajos niveles de tecnificación y un índice de Gini agropecuario de 0.96, que limita un desarrollo inclusivo. Se concluye que la tecnificación debe ser concebida como herramienta de un desarrollo rural sostenible e incluyente. Superar las barreras estructurales exige políticas con enfoque territorial, fortalecimiento de la asociatividad, acceso a crédito y capacitación, y adopción de tecnologías limpias y circulares que aprovechen residuos agroindustriales.

**Palabras clave:** Equidad territorial; infraestructura rural; tecnificación agrícola, zonificación agroecológica; tecnologías adaptativas; brechas territoriales.

### Abstract

Colombian agricultural production is diverse but unequal, with high economic concentration in a few territories and a vulnerable export structure, particularly in Boyacá, where a high agricultural Gini index limits the sector's competitiveness and sustainability. The aim of this study was to analyze the determinants of the mechanization of agricultural production processes in Boyacá and its national comparison, addressing Colombia's structural challenges of low productivity, territorial inequality, and sustainability concerns. Specifically, it sought to identify the extent to which agroecological conditions, socioeconomic inequality, and access to infrastructure and technology explain departmental agro-industrial performance, using agro-industrial GDP as the dependent variable. A mixed-methods design with an explanatory-sequential approach was implemented, combining quantitative ANCOVA and multiple regression models with a qualitative case study in Boyacá based on documentary analysis. The results indicate that agro-industrial mechanization is essential to increasing productivity, but its effectiveness is strongly mediated by territorial disparities and agroecological conditions. ANCOVA findings show that climate has a significant effect on agro-industrial GDP, with temperate and cold zones being the most productive. Multiple regression analysis reveals that internal inequality is positively associated with higher agro-industrial GDP, reflecting growth concentrated in poles with greater infrastructure and capital, while large areas remain lagging behind. In Boyacá, this pattern is evident in low mechanization levels and an agricultural Gini index of 0.96, which hinders inclusive development. The study concludes that mechanization should be conceived as a tool for sustainable and inclusive rural development. Overcoming structural barriers requires territorially focused policies, strengthened producer associations, expanded access to credit and training, and the adoption of clean and circular technologies that valorize agro-industrial residues.

**Keywords:** Territorial equity; rural infrastructure; agricultural modernization; agroecological zoning; adaptive technologies; territorial gaps.

## INTRODUCCIÓN

La transformación tecnológica en la agricultura es un pilar del desarrollo económico global, pero su impacto es profundamente ambivalente. Si bien la modernización puede catalizar incrementos en la productividad y generar nuevas oportunidades en la agroindustria (Pingali, 2007), también puede exacerbar desigualdades socioeconómicas, desplazando mano de obra y marginando a pequeños productores que carecen de acceso a capital y conocimiento (De Janvry y Sadoulet, 2001). Este paradigma dual es particularmente evidente en países en desarrollo como Colombia, una nación con un vasto potencial agroecológico que, sin embargo, enfrenta brechas estructurales que limitan su competitividad y perpetúan la inequidad rural (Cárdenas y Vallejo, 2016).

Históricamente, el sector agropecuario colombiano ha sido la base de su economía y sistema alimentario. No obstante, su desarrollo se ha visto obstaculizado por una desconexión sistémica entre la producción primaria y la industria, una crisis agravada por un proceso de desindustrialización a finales del siglo XX que debilitó las cadenas de valor internas (Ocampo, 2019). Actualmente, gran parte de la agricultura colombiana opera con métodos tradicionales, lo que reduce su competitividad. A pesar de ello, la agroindustria contribuye significativamente al PIB nacional (entre 6% y 8%) y a las exportaciones (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023), evidenciando un potencial de crecimiento latente.

El altiplano cundiboyacense, con Boyacá y Cundinamarca como principales productores de papa, ejemplifica esta contradicción. Mientras la demanda de alimentos de grandes urbes como Bogotá crece exponencialmente, la productividad de Boyacá, a pesar de sus ventajas agroecológicas, ha mostrado un rendimiento inferior al de otras regiones (Finagro, 2023). Este fenómeno trasciende la simple falta de maquinaria y apunta a un problema más profundo: la disparidad territorial.

La literatura sobre desarrollo regional sugiere que la competitividad no solo deriva de ventajas comparativas (Porter, 1990), sino de la capacidad de los territorios para construir ecosistemas de innovación (Storper, 1997). Sin embargo, cuando los recursos, la infraestructura y la inversión se concentran geográficamente, se crean “islas de modernidad” que coexisten con “océanos de atraso”, un fenómeno que puede explicar por qué los departamentos con mayores desigualdades internas podrían, paradójicamente, concentrar el desarrollo agroindustrial (Rodríguez-Pose, 2018).

Este estudio aborda este vacío al analizar cómo las disparidades territoriales y las condiciones agroecológicas median el efecto de la tecnificación en la productividad agroindustrial. Se plantea la hipótesis de que el crecimiento del sector en Colombia sigue un modelo de concentración, donde un PIB agroindustrial más alto se asocia positivamente con mayores desigualdades internas. Esta dinámica sugiere que los beneficios de la modernización no se distribuyen de manera homogénea, sino que son capturados por enclaves que logran capitalizar sus ventajas, reforzando las brechas regionales.

Por lo tanto, el objetivo principal es identificar y analizar los factores determinantes de la tecnificación de los procesos productivos agrarios en Boyacá y su comparativa nacional. Al identificar se pretende fortalecer el sector agroindustrial en departamentos como Boyacá, observando la necesidad de cerrar las brechas en infraestructura, acceso tecnológico y capacitación, con el fin de proponer estrategias de desarrollo con un enfoque territorial. Se busca analizar las interacciones socioeconómicas de la tecnificación, evaluar el entorno productivo departamental mediante análisis descriptivo estadístico, correlacional, Regresión Lineal Múltiple y ANCOVA y cualitativo, para así estructurar un marco de acción que contribuya a un crecimiento más inclusivo y sostenible, proveyendo evidencia empírica para la toma de decisiones en políticas de desarrollo rural e inversión pública.

Para lo cual, la investigación presenta en una primera parte el estado del arte con sus paradigmas de desarrollo agrícola y modernización de la tecnología, el territorio como eje de competitividad, desarrollo endógeno y los mecanismos de adopción en la difusión de la innovación. Una segunda parte corresponde a la metodología implementando un análisis combinado con datos cuantitativos y cualitativos. En la tercera parte se encuentran los resultados; en la cuarta parte se presenta la discusión de los resultados, tanto cuantitativos como cualitativos triangulando con información documental. Finalmente se presentan las conclusiones y las respectivas referencias pertinentes al estudio.

## ESTADO DEL ARTE

Para analizar la compleja dinámica de la tecnificación agroindustrial en un contexto de desigualdad territorial, este estudio se fundamenta en la convergencia de tres corrientes teóricas: los paradigmas del desarrollo agrícola y modernización, las teorías de competitividad y desarrollo endógeno territorial, y los modelos de difusión de la innovación.

### *Paradigmas del Desarrollo Agrícola y Modernización Tecnológica*

La visión clásica del desarrollo agrícola, propuesta por autores como **Johnston y Mellor (1961)** y **Schultz (1964)**, postulaba que el crecimiento del sector era un prerrequisito para la industrialización. El modelo de modernización se centró en la introducción de un +para transformar una agricultura tradicional en una de alta productividad. Sin embargo, esta perspectiva ha sido criticada por sus efectos sociales y ambientales. En respuesta, han surgido enfoques alternativos como la agroecología, que promueve sistemas productivos sostenibles basados en la biodiversidad (**Altieri, 1995; Milanovic, 2016**), y la intensificación sostenible (**Conway y Barbier, 2013**), que busca aumentar la productividad sin generar impactos ambientales negativos (**Pretty, 2008**).

Más recientemente, el concepto de “Agricultura 4.0” integra tecnologías digitales como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data e inteligencia artificial para optimizar

la toma de decisiones (Wolfert et al., 2017). A pesar de su potencial, el acceso a estas tecnologías sigue siendo desigual, lo que plantea interrogantes sobre quién se beneficia de esta nueva revolución y cómo evitar la ampliación de la brecha digital en el campo (De Janvry y Sadoulet, 2001), en línea con la búsqueda de una nueva industrialización avanzada que propone la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia-ANDI (2017).

El Territorio como Eje: Competitividad, Aglomeración y Desarrollo Endógeno

El análisis de la productividad no puede desvincularse de su contexto geográfico. El modelo de clústeres de Porter (1990), argumenta que, la concentración geográfica de empresas genera ventajas competitivas a través de economías de aglomeración, como mercados laborales especializados y difusión de conocimiento (Marshall, 1920). De manera similar, Storper (1997) introduce el concepto de “región como mundo aprendido”, donde las redes locales y el conocimiento tácito son cruciales para el desarrollo endógeno.

Sin embargo, esta misma concentración puede generar disparidades significativas. Autores como Pike et al. (2017), señalan que, la resiliencia territorial depende de la capacidad de las regiones para diversificar sus estructuras productivas. La falta de estas capacidades en zonas rezagadas conduce a lo que Rodríguez-Pose (2018) denomina “la venganza de los lugares que no importan”, donde la desigualdad persistente socava el desarrollo a largo plazo. En el ámbito agrícola, esto se manifiesta en la segmentación de las cadenas de valor, donde la gobernanza y la coordinación entre actores determinan la capacidad de los productores para capturar valor (Gereffi et al., 2005, Gereffi & Lee, 2016).

### *Mecanismos de Adopción y Difusión de la Innovación*

La existencia de tecnología no garantiza su adopción. La teoría de la difusión de innovaciones de Rogers (2003) explica que, la adopción depende de la percepción de cinco atributos: ventaja relativa, compatibilidad, complejidad, posibilidad de prueba y observabilidad. En el sector agrícola, la falta de formación técnica limita la adopción de prácticas avanzadas (Anderson y Feder, 2007), generando desigualdades en productividad (Evenson y Gollin, 2003) y afectando la logística del comercio internacional (World Bank, 2019).

Además, la transformación tecnológica debe entenderse dentro de un sistema sociotécnico más amplio, donde factores tecnológicos interactúan con elementos económicos, políticos e institucionales (Geels, 2004). La desconfianza en las asociaciones, la informalidad y la debilidad de los sistemas locales de innovación pueden actuar como barreras significativas, impidiendo que comunidades rurales como las de Boyacá aprovechen las oportunidades de la modernización.

Este estudio integra estas tres perspectivas para analizar la productividad agroindustrial no como un simple resultado de la inversión tecnológica, sino como un fenómeno mediado por la interacción entre ventajas agroecológicas, la estructura

espacial de la desigualdad y los mecanismos sociotécnicos que gobiernan la difusión de la innovación.

## METODOLOGÍA

### *Diseño de investigación*

El estudio adoptó un diseño de investigación mixto con un enfoque explicativo-secuencial (Creswell y Creswell, 2018), combinando un análisis cuantitativo (QUAN) a nivel nacional con un estudio de caso cualitativo (qual) para contextualizar los hallazgos en Boyacá.

#### *Fase Cuantitativa.*

Se utilizaron datos secundarios de corte transversal de 2022 a 2024, para los 32 departamentos de Colombia y el Distrito Capital (N=33), provenientes del DANE (Encuesta Nacional Agropecuaria, 2019 y Cuentas Nacionales Departamentales, 2022), el Ministerio de Agricultura, el IGAC y la UPRA. Aunque este diseño permite analizar asociaciones, se reconoce su limitación para establecer causalidad (Sedgwick, 2014).

La variable dependiente fue el PIB Agroindustrial (Pib\_Agrop), transformada logarítmicamente ( $\ln(\text{Pib\_Agrop})$ ) para interpretar los coeficientes como semi-elasticidades (Wooldridge, 2020). Las variables independientes incluyeron: condiciones climáticas (variables dummy por piso térmico), índice de Gini agropecuario (gini\_perc50), Índice de Disparidad Regional y área agrícola (areaHa). Los datos se procesaron en STATA 17 y se analizaron en tres etapas:

Primera: Análisis descriptivo. Caracterización del sector agroindustrial y la distribución territorial de la producción y la desigualdad.

En la segunda y tercera etapa se emplean modelos ANCOVA y regresión múltiple, resultan pertinentes dado el tipo de variables, el diseño de datos y la necesidad de integrar distintos niveles de análisis.

Segunda: Modelo 1 – ANCOVA. Se evaluó la influencia del clima en el  $\ln(\text{Pib\_Agrop})$ , controlando por la covariable disparidad regional (Tabachnick y Fidell, 2019); lo cual se expresa en la ecuación (1):

$$\ln(\text{PibAgrop})_i = \beta_0 + \beta_1 D_{templado_i} + \beta_2 D_{frio_i} + \beta_3 D_{paramo_i} + \beta_4 \ln(\text{Disparidad})_i + \epsilon_i \quad (1)$$

El modelo ANCOVA permite evaluar si las diferencias en el producto agroindustrial entre pisos térmicos son estadísticamente significativas, controlando por la covariable de disparidad regional. Este enfoque es adecuado porque combina las ventajas del ANOVA con la regresión, controlando efectos de confusión y aislando el impacto del clima en la productividad (Tabachnick y Fidell, 2019). De este modo, se logra establecer la contribución relativa de los factores climáticos en el  $\ln(\text{Pib\_Agrop})$ , manteniendo la comparabilidad territorial. Para controlar la multicolinealidad de

las variables climáticas Di se omite la variable dicótoma Clima cálido y se deja como variable referencia para su interpretación; dado que en el modelo se incluye el término del intercepto.

*Tercera: Modelo 2 - Regresión lineal múltiple.* Se exploraron correlaciones (Pearson) y se estimó un modelo con las variables estandarizadas  $z\_gini$  y  $z\_areaHa$ , junto a desvdisparidad, para explicar la variación en  $\ln(Pib\_Agrop)$ .

Se validaron los supuestos del modelo usando la prueba de Breusch-Pagan (homocedasticidad), Skewness/Kurtosis (normalidad de residuos) y el VIF (multicolinealidad), con umbral  $VIF < 10$  (Gujarati y Porter, 2009). Ecuación (2):

$$\ln (PibAgrop)_i = \beta_0 + \beta_1 z\_ginii + \beta_2 z\_areai + \beta_3 desvdisparidadi + \beta_4 Departamentosi + \varepsilon_i \quad (2)$$

La regresión múltiple estandarizada resulta el modelo idóneo para estimar la relación conjunta de desigualdad ( $z\_gini$ ), área cultivada ( $z\_areaHa$ ) y disparidad regional sobre el PIB agroindustrial. La estandarización (Field, 2018) facilita la interpretación comparativa de los coeficientes como efectos relativos, mientras que la transformación logarítmica del PIB permite interpretar los coeficientes como semi-elasticidades (Wooldridge, 2020). Asimismo, los supuestos de homocedasticidad, normalidad y ausencia de multicolinealidad fueron validados con pruebas econométricas de uso estándar (Gujarati y Porter, 2009).

#### *Fase Cualitativa.*

La complementariedad con la fase cualitativa radica en que los hallazgos de los modelos cuantitativos explican asociaciones estadísticas generales, mientras que el análisis documental (planes de desarrollo, informes técnicos y políticas públicas) permitió identificar barreras estructurales a la tecnificación (baja adopción tecnológica, limitaciones institucionales, desigualdad territorial). Así, la triangulación metodológica proporciona una visión integral, donde los patrones estadísticos se interpretan a la luz de procesos sociales, institucionales y ambientales (Fetters, Curry y Creswell, 2013).

Se implementó un estudio de caso instrumental centrado en Boyacá, dado sus ventajas comparativas entre estas: posee los 4 pisos térmicos, mientras que otros departamentos no lo poseen, su ubicación es central y la adopción de políticas y tecnología para el campo han sido muy precarias. utilizando análisis documental de planes de desarrollo e informes técnicos (DANE, Corporación colombiana de investigación agropecuaria-AGROSAVIA, Gobernación de Boyacá de los años 2021 a 2024). La triangulación de estos datos con los resultados cuantitativos permitió una comprensión integral de las barreras estructurales a la tecnificación, fortaleciendo la validez interna del estudio.

Para el proceso de análisis cualitativo, se empleó un análisis de contenido temático (Braun y Clarke, 2006; Schreier, 2012), orientado a identificar patrones y

categorías recurrentes en los documentos revisados. Esta técnica permitió extraer significados relevantes sobre las barreras y oportunidades de la agroindustria en Boyacá, a partir de los informes del **DANE**, **AGROSAVIA (2021)** y la **Gobernación (2021–2024)**.

En cuanto a la confiabilidad del análisis, se aplicó un procedimiento de validación intercodificador, complementado con la revisión por expertos (**Nowell et al., 2017**). Este proceso garantizó consistencia en la interpretación de los datos y redujo sesgos individuales en la codificación.

Los hallazgos cualitativos se integraron con los resultados cuantitativos mediante un enfoque de triangulación mixta (**Fetters, Curry y Creswell, 2013**). Por ejemplo, los resultados del ANCOVA y los modelos de regresión mostraron diferencias significativas en productividad asociadas al acceso a tecnología, y estas tendencias fueron explicadas a partir de barreras institucionales y sociales detectadas en la documentación de Boyacá. De este modo, el componente cualitativo no solo contextualizó los patrones estadísticos, sino que aportó comprensión sobre las causas estructurales de la baja tecnificación agroindustrial en el departamento. Este procedimiento metodológico, que combina el estudio de caso instrumental con técnicas contemporáneas de análisis cualitativo, fortalece la validez interna y externa asegura una comprensión integral del fenómeno; siendo particularmente adecuada para estudios de desarrollo regional en agroindustria.

## RESULTADOS

Esta sección presenta los hallazgos del estudio, comenzando con un panorama nacional, seguido de los resultados econométricos y finalizando con el análisis de caso de Boyacá.

### *Panorama Nacional de la Producción y Desigualdad Agroindustrial*

De acuerdo con el DANE, Colombia se encuentra dividida política y administrativamente en 32 departamentos y un Distrito Capital (Bogotá), este no es considerado como departamento, al ser una ciudad capital con una economía predominantemente urbana y de servicios, no tiene una participación significativa en el sector agropecuario. Los departamentos presentan en su geografía una forma montañosa, con una variedad de pisos térmicos que determinan los cultivos a desarrollarse en cada región.

El análisis descriptivo revela una marcada especialización productiva en Colombia, asociada a los pisos térmicos. Departamentos como Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca y Santander concentran una alta diversidad productiva y aportan significativamente al PIB agroindustrial (**Tabla 1**). La Costa Caribe se especializa en cultivos de clima cálido (palma de aceite, banano), mientras que la región andina se enfoca en productos de clima frío y templado (papa, flores, café).

Un hallazgo crítico es la alta concentración de la tenencia de la tierra, reflejada en el Índice de Gini Agropecuario. La mayoría de los departamentos productivos presentan un coeficiente superior a 0.90, destacando Antioquia (0.98), Meta (0.99) y Boyacá (0.96), lo que indica una desigualdad estructural extrema. En contraste, en regiones amazónicas como Vaupés y Guainía, el Gini es cercano a cero, reflejando modelos de propiedad colectiva y restricciones de conservación (Tabla 3).

*Tabla 1. Productos relevantes Agroindustriales por Departamento, Pisos Térmicos, PIB y coeficiente Gini Agropecuario (Percentil 50).*

Departamento	Cálido (0-1.000 m)	Templado (1.000-2.000 m)	Frío (2.000-3.000 m)	Páramo (+3.000 m)	Pib_ Agro	Gini- Agro _Perc_50
Amazonas	Cacao, frutas amazónicas (copoazú, arazá)	N/A			0.08	0.93
Antioquia	Banano, cacao, caña panelera	Café, aguacate Hass, cítricos	Papa, leche, hortalizas	Cultivos experimentales (quinua)	15.2	0.98
Arauca	Palma de aceite, cacao, arroz	Ganadería, yuca, plátano	N/A	N/A	1.3	0.96
Atlántico	Algodón, banano, mango, maíz	Cítricos, yuca	N/A	N/A	4.41	0.93
Bolívar	Palma de aceite, caña de azúcar, ñame	Cacao, plátano, yuca	N/A	N/A	3.6	0.93
Boyacá	Cacao, caña panelera, aguacate	Durazno, feijoa, cebolla	Papa, lácteos, cebada, quinua	Cultivos experimentales	4.3	0.96
Caldas	Plátano, cacao, caña de azúcar	Café, frutales (mora, lulo)	Papa, leche, uchuva	N/A	1.65	0.97
Caquetá	Cacao, plátano, caucho	Café, frutales amazónicos	N/A	N/A	0.39	0.88
Casanare	Palma de aceite, arroz, plátano	Cacao, cítricos, maíz	N/A	N/A	2.1	0.98
Cauca	Caña de azúcar, cacao, chontaduro	Café, aguacate Hass, hortalizas	Papa, quinua, leche	Cultivos de conservación	5.4	0.96
Cesar	Palma de aceite, banano, algodón	Café, cítricos, yuca	Papa, cebolla, fresas	N/A	2.9	0.93
Chocó	Banano, cacao, palmito	Plátano, chontaduro, coco	N/A	N/A	0.43	0.94
Córdoba	Palma de aceite, arroz, algodón	Cítricos, cacao, café	Papa, plátano, hortalizas	N/A	3.8	0.96
Cundina- marca	Cacao, caña panelera, plátano	Café, hortalizas, frutales	Papa, leche, flores	Cultivos experimentales	10.5	0.96
Guainía	Cacao, copoazú, arazá	N/A	N/A	N/A	0.04	0.0

Guaviare	Cacao, copoazú, caucho	Frutas amazónicas	N/A	N/A	0.08	0.00
Huila	Café, arroz, plátano	Frutas exóticas, aguacate Hass	Papa, leche, quinua	N/A	6.5	0.95
Guajira	Frutas tropicales (mango, melón, sandía), algodón	Cítricos, yuca	N/A	N/A	1.8	0.93
Magdalena	Banano, palma de aceite, caña	Café (Sierra Nevada), cacao	Papa, frutales de altura	N/A	3.2	0.94
Meta	Palma de aceite, plátano, arroz	Cacao, café, aguacate	Papa, frutales	N/A	7.9	0.99
Nariño	Banano, palma, caña de azúcar	Café, quinua, frutales	Papa, leche, trucha	Cultivos experimentales	4.9	0.96
Norte Santander	Cacao, caña, banano	Café, cítricos, aguacate	Papa, leche, hortalizas	N/A	1.6	0.95
Putumayo	Cacao, chontaduro, plátano	Café, aguacate	N/A	N/A	1	0.95
Quindío	Plátano, cacao, caña	Café, frutales (mora, lulo)	Papa, leche, aguacate	N/A	0.84	0.96
Risaralda	Plátano, caña, cacao	Café, cítricos, aguacate	Papa, leche, fresas	N/A	1.67	0.95
San Andrés	Coco, frutas tropicales	N/A	N/A	N/A	0.14	0.91
Santander	Cacao, tabaco, caña panelera	Café, aguacate Hass, cítricos	Papa, leche, fresas	N/A	7.3	0.96
Sucre	Palma de aceite, arroz, maíz	Yuca, cítricos, frutales	N/A	N/A	2.5	0.95
Tolima	Arroz, cacao, caña de azúcar	Café, cítricos, aguacate	Papa, quinua, leche	Cultivos de adaptación	8.7	0.96
Valle del Cauca	Caña de azúcar, cacao, palma	Café, frutales, aguacate	Papa, hortalizas	N/A	12.8	0.98
Vaupés	Cacao, copoazú, arazá	N/A	N/A	N/A	0.03	0.00
Vichada	Palma de aceite, yuca, arroz	Cacao, plátano	N/A	N/A	0.07	0.90
Bogotá	N/A	Aguacate, uchuva, curuba, mora, tomate de árbol, maíz, cebada, arveja, harinas derivadas del maíz, snacks saludables	Papa nativa, arracacha, zanahoria, leches, quesos frescos, yogurt, lechuga, espinaca, cebolla, repollo, cerveza arte, chicha kumis, flores	Quinua, cebada, papa, ibia, cubios, miel de paramo, propóleo, aromáticas, trucha, hongos comestibles	0.06	0.89

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE.(2021, 2022), Minagricultura (2023), IGAC (2022), Banco de la República (2023).

Debido a que Colombia presenta una gran diversidad climática dada su variada topografía y ubicación geográfica, para una mejor visión de las características climáticas, se agrupan según las regiones descritas en la **Tabla 2**.

*Tabla 2. Características climáticas por regiones agrupadas.*

Región Natural	Departamentos	Clima
Amazonia	Amazonas, Caquetá, Guainía, Guaviare, Putumayo, Vaupés	Clima ecuatorial, cálido y húmedo, con temperaturas que suelen superar los 27 °C y precipitaciones abundantes durante todo el año. Por ejemplo, en Leticia, las temperaturas oscilan entre 25 °C y 31 °C.
Andina	Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima.	Varía según la altitud. En zonas bajas, el clima es cálido; en áreas entre 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar, el clima es templado, con temperaturas entre 17 °C y 24 °C; y en altitudes superiores, el clima es frío, con temperaturas entre 12 °C y 17 °C. Por ejemplo, Medellín, ubicada a 1.495 metros, tiene una temperatura promedio de 22 °C.
Caribe	Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre.	Predominantemente cálido, con temperaturas que suelen superar los 24 °C. Por ejemplo, en ciudades como Cartagena y Barranquilla, las temperaturas oscilan entre 24 °C y 32 °C.
Pacífica	Chocó, Valle del Cauca, Cauca, Nariño	Predominantemente cálido y húmedo, con temperaturas que suelen superar los 24 °C y alta pluviosidad durante todo el año. Por ejemplo, en Buenaventura, las temperaturas oscilan entre 25 °C y 30 °C.
Orinoquia	Arauca, Casanare, Meta, Vichada	Clima tropical de sabana, con temperaturas que suelen superar los 24 °C y una marcada estación seca y otra lluviosa. Por ejemplo, en Villavicencio, las temperaturas oscilan entre 24 °C y 30 °C.
Insular	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.	Clima tropical marítimo, con temperaturas que suelen oscilar entre 25 °C y 30 °C durante todo el año. Por ejemplo, en San Andrés, las temperaturas oscilan entre 26 °C y 30 °C.

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2022), MinAgricultura (2023), IGAC (2022).

En Bogotá predominan los climas fríos y de páramo, presentes en la mayor parte de la ciudad y en zonas altas como los cerros orientales, Sumapaz y Chingaza; el clima templado se encuentra únicamente en algunas áreas periféricas de menor altitud.

Colombia presenta una notable diversidad agroindustrial gracias a su variación altitudinal y climática. Departamentos como Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Santander destacan por abarcar todos los pisos térmicos, lo que les permite producir una amplia gama de productos. Las zonas cálidas se especializan en cultivos de exportación como palma de aceite, cacao y banano; las templadas en productos de

valor agregado como café y frutas exóticas; y las frías y de páramo en lácteos, papa, quinua y cebada, con potencial para productos sostenibles.

Actualmente, se desarrollan cultivos experimentales adaptados a nuevas condiciones climáticas (como quinua, cebada cervecera y lúpulo), así como especies en conservación por su valor ecológico (como papa nativa, maíz criollo y chontaduro silvestre). Además, se promueven cultivos adaptados al cambio climático (ej. arroz biofortificado, cacao resistente, papa resistente a heladas).

En Bogotá D.C. se destacan productos con alto valor agregado como snacks saludables de papa, lácteos innovadores, bebidas fermentadas y superalimentos andinos. Finalmente, los índices de Gini y de disparidad territorial reflejan desigualdades internas y regionales, útiles para orientar políticas públicas e inversión en desarrollo rural.

El análisis del índice de Gini agropecuario en Boyacá (última columna **Tabla 1**), basado en predios rurales privados ubicados dentro de la frontera agrícola y con uso agropecuario, revela una desigualdad extrema: el 50% de los predios presentan un valor igual o inferior a 0.9563, lo que indica alta concentración de la producción en pocos predios. Esta desigualdad estructural afecta la competitividad y sostenibilidad del sector agrícola. En contraste, en regiones como Vaupés, Guainía y Guaviare, la información sobre el Gini es limitada debido a restricciones ambientales y la necesidad de preservar los ecosistemas, como se muestra en la tabla 3. lo cual exige prácticas sostenibles adaptadas a las condiciones locales.

**Tabla 3.** Distribución de tierras rurales Departamentos: Guaviare, Guainía y Vaupés.

Departamento	Aptitud del Suelo	Uso Actual del Suelo	Formalización de la Propiedad
Guaviare	60,3% apto para ganadería extensiva y plantaciones forestales; 1,9% para agricultura y ganadería semintensiva (IGAC, Contexto Ganadero, Fedegán).	305.000 ha afectadas por actividades agropecuarias (5,3%) (IGAC)	Titulación a 115 familias (3.000 ha) en 2023 y 59 familias (1.636 ha) en 2022 (portalparalapaz.gov.co, Corrillos)
Guainía	Sin capacidad agrícola o ganadera neta; 0,2% apto para uso forestal/ agroforestal (IGAC).	48.425 ha agropecuarias: 40.542 ha cultivos y 7.883 ha ganadería (IGAC); 96,7% conservación (IGAC)	No se reportan procesos específicos de formalización (sin fuente específica)
Vaupés	Condiciones similares a Guainía; vastas áreas de selva tropical con limitaciones agrícolas (sin fuente específica)	Información limitada sobre uso actual (sin fuente específica)	No se reportan procesos específicos de formalización (sin fuente específica)

Fuente. Elaboración propia.

Otro aspecto a destacar es la variada producción agrícola que se distribuye de manera heterogénea a lo largo de sus 32 departamentos, permitiendo una dinámica de consumo interno y de exportaciones como se ilustra en la **Tabla 4**.

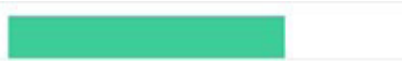
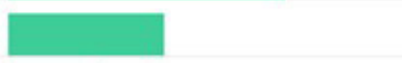
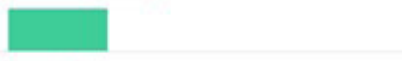


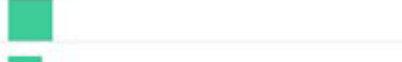

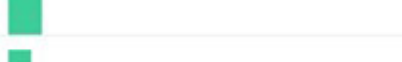


*Tabla 4. Productos de consumo y de exportación por departamentos*

Departamento	Principales Productos de Consumo y Exportación
Amazonas	Yuca, plátano, frutas amazónicas: arazá y el copoazú
Antioquia	Café, plátano, banano, flores, aguacate, caña de azúcar
Arauca	Arroz, cacao, plátano, yuca, palma de aceite
Atlántico	Algodón, maíz, yuca, sorgo, hortalizas
Bolívar	Arroz, maíz, yuca, ñame, palma de aceite
Boyacá	Papa, cebolla, maíz, trigo, frutales de clima frío como la manzana y la pera
Caldas	Café, plátano, caña de azúcar, aguacate, cítricos
Caquetá	Cacao, caucho, yuca, plátano, arroz
Casanare	Arroz, palma de aceite, yuca, plátano, maíz
Cauca	Café, caña de azúcar, maíz, papa, frutales como el lulo y la mora
Cesar	Algodón, arroz, palma de aceite, maíz, yuca
Chocó	Cacao, plátano, coco, borojó, chontaduro
Córdoba	Algodón, maíz, arroz, yuca, plátano
Cundinamarca	Flores, papa, maíz, frutales de clima frío, hortalizas
Guainía	Yuca, plátano, maíz, frutas amazónicas
Guaviare	Cacao, yuca, plátano, maíz, caucho
Huila	Café, arroz, cacao, frutales como el maracuyá y la granadilla
La Guajira	Algodón, maíz, yuca, frutales como el mango y la patilla
Magdalena	Banano, palma de aceite, arroz, maíz, yuca
Meta	Arroz, palma de aceite, yuca, plátano, maíz
Nariño	Papa, café, maíz, frutales como el lulo y la mora
Norte de Santander	Cacao, café, arroz, palma de aceite, caña de azúcar
Putumayo	Cacao, yuca, plátano, maíz, caucho
Quindío	Café, plátano, aguacate, cítricos, caña de azúcar
Risaralda	Café, plátano, caña de azúcar, aguacate, frutales
San Andrés	Coco, yuca, plátano, frutales tropicales
Santander	Cacao, café, palma de aceite, caña de azúcar, tabaco
Sucre	Algodón, maíz, arroz, yuca, plátano
Tolima	Arroz, café, algodón, maíz, sorgo
Valle del Cauca	Caña de azúcar, café, maíz, soya, frutales como el mango y la piña
Vaupés	Yuca, plátano, maíz, frutas amazónicas
Vichada	Arroz, palma de aceite, yuca, plátano, maíz

Fuente: Elaboración propia, tomado de microdatos DANE (2024), Minagricultua (2020), CID (2024).

Esta distribución refleja la riqueza y diversidad agrícola de Colombia, donde cada departamento aporta productos esenciales tanto para el consumo interno como para la exportación. A nivel macroeconómico, la actividad económica está altamente concentrada en Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca donde se genera la mayor parte del PIB nacional (**Figura 1**), mientras que Boyacá tiene una participación intermedia. Contrastado con la dinámica de las exportaciones de Boyacá (**Figura 2**) muestra una alta volatilidad, con un pico en 2014 seguido de una caída sustancial, lo que sugiere vulnerabilidad a factores externos y una estructura productiva poco consolidada.

**Figura 1.** Departamentos de Colombia que más aportan al PIB Nacional (%)

BOGOTÁ, D.C.	25,01	
ANTIOQUIA	14,69	
VALLE DEL CAUCA	9,70	
SANTANDER	6,43	
CUNDINAMARCA	6,32	
ATLÁNTICO	4,46	
BOLÍVAR	3,60	
META	3,42	
BOYACÁ	2,66	
TOLIMA	2,12	

Fuente: DANE (2022).

Lo anterior evidencia la poca y significativa producción agropecuaria que se destina a la exportación, que podría generar divisas y contribuir a mantener un superávit en la balanza comercial agropecuaria del país (**Leibovich y Estrada, 2008**). Tal como se observa en la **Figura 2**, las exportaciones en Boyacá, presentan una dinámica ascendente anual desde año 2012 a 2014, donde se mantiene el mayor crecimiento, en comparación desde su punto más alto en 2014 hasta 2019 disminuye sustantivamente, para luego tomar un leve crecimiento hasta el año 2022, con tendencia nuevamente a disminuir.

**Figura 2.** Dinámica de las exportaciones en Boyacá.



Fuente: Tomado de: MARO (2024)

Respecto al 2014, año en el cual tuvo su mejor momento, se cree ha sido gracias al proceso de paz y las políticas de desarrollo implementadas por el gobierno de Juan Manuel Santos. Posteriormente decae abruptamente hasta 2019; y luego a partir de 2019 antes de la pandemia (año 2020), puedo elevar levemente las exportaciones hasta el 2022, pero, para el 2023 vuelve a caer en otro decrecimiento. Esto afecta al departamento y refuerza la postura de desarrollar una *economía sostenible e implementar nuevas técnicas* que permitan una mayor producción y fomenten el crecimiento económico del departamento.

### *Análisis Económico de los Determinantes de la Productividad*

Modelo 1: Efecto del Clima y la Disparidad Regional sobre el PIB agroindustrial

El modelo ANCOVA (**Anexo A** y **Tabla 5**) confirma que las condiciones climáticas son un factor determinante de la productividad agroindustrial. Controlando por el efecto de la disparidad regional, los departamentos con predominio de climas templado y frío tienen un PIB agroindustrial significativamente mayor que aquellos con clima cálido (con p-valor < 0.05), respectivamente). La variable de disparidad regional (lnDisparidad) también es altamente significativa, indicando que, a mayor heterogeneidad socioeconómica interna, mayor es el PIB agroindustrial. El modelo explica el 79.5% de la varianza ( $R^2=0.7945$ ) y es globalmente significativo ( $F(4, 27)=26.09, p<0.001$ ).

**Tabla 5.** Resultados e interpretación de los coeficientes con  $(p > |t|)$

Variable	Coeficiente	Interpretación
Dtemplado	1.5688 (0.012)	Departamentos con clima templado tienen un PIB agroindustrial 380% mayor (aprox.) que los cálidos, ceteris paribus.
Dfrio	1.0552 (0.011)	Los de clima frío tienen un PIB agroindustrial 187% mayor que los cálidos.
Dparamo	0.7576 (0.090)	El efecto de páramos, no es estadísticamente significativo (al 5%) frente al PIB
lnDisparidad	2.0919 (0.002)	Un aumento del 1% en la disparidad económica (logarítmica) se asocia con un aumento aproximado del 2.1% en el PIB agroindustrial.
_cons	-5.5228 (0.000)	Valor base del log del PIB agroindustrial en departamentos cálidos con disparidad nula (hipotética).

Nota: Los efectos en logaritmos se interpretan como porcentajes, obtenidos de la fórmula  $(\exp(\beta) - 1) * 100$ .  
Fuente: Elaboración propia.

Los diagnósticos del modelo (**Tabla 6**) validaron su robustez al no encontrar problemas de heterocedasticidad, multicolinealidad o falta de normalidad en los residuos.

**Tabla 6.** Diagnóstico de supuestos del modelo de regresión lineal múltiple

Supuesto evaluado	Prueba aplicada	Estadístico (valor)	p-valor	Conclusión
Homocedasticidad	Breusch–Pagan / Cook–Weisberg	$\chi^2(1) = 0.05$	0.820	No hay evidencia de heteroscedasticidad
Normalidad de los residuos	Skewness/Kurtosis test (Jarque–Bera ampliado)	$\chi^2(2) = 0.27$	0.8721	Los residuos siguen distribución normal
Multicolinealidad	VIF (Factor de inflación de varianza)	VIF máximo = 1.72; media = 1.53	—	No hay multicolinealidad preocupante

Nota: p-valores superiores a 0.05 indican ausencia de problemas en los supuestos respectivos.  $VIF < 10$  sugiere baja colinealidad entre predictores. Fuente: Elaboración propia.

### Modelo 2: Efecto de la Desigualdad y el Área Agrícola sobre el Pib agropecuario

Para complementar el análisis se relaciona el pib agropecuario, con nuevas variables mediante una matriz de correlaciones, que de acuerdo con la literatura posiblemente afectan la productividad Pib\_Agrop: Producto Interno Bruto Agropecuario por departamento, como se ilustra en el **Anexo C** y **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Interpretación de la matriz de correlaciones

Variable 1	Variable 2	Correlación	Interpretación
Pib_Agrop	gini_perc50	0.5628	Correlación moderada positiva: a mayor Gini (más desigualdad), mayor PIB agropecuario. Esto puede indicar concentración productiva.
Pib_Agrop	Disparidad	0.4999	Correlación moderada positiva: donde hay más disparidad regional, suele haber mayor PIB agropecuario. Posiblemente por centralización de actividad en pocos municipios.
Pib_Agrop	areaHa	0.6021	Correlación moderada-fuerte positiva: los departamentos con más tierras agrícolas tienden a tener mayor PIB agropecuario.

gini_perc50	Disparidad	0.6661	Correlación fuerte positiva: los departamentos más desiguales (Gini) también presentan más disparidad regional interna.
gini_perc50	areaHa	0.4450	Correlación moderada positiva: más tierra disponible se asocia con más desigualdad, quizás por concentración de la tierra.
Disparidad	areaHa	0.4342	Correlación moderada positiva: más tierra agrícola se asocia con más disparidad regional. Podría reflejar diferencias en productividad o acceso dentro del departamento.

Fuente: Elaboración propia. Datos procesados en STATA.

La matriz de correlaciones mostró asociaciones positivas y moderadas entre el PIB agropecuario y el Gini, la Disparidad y el Área Agrícola. Sin embargo, el modelo de regresión múltiple (**Anexo B, Tabla 8**) refina estos hallazgos. con *variable dependiente*: lnpibagro (logaritmo natural del PIB agropecuario) y *Variables explicativas*: z\_gini: Gini estandarizado, z\_areaHa: Área agrícola estandarizada y desvdisparidad: Desviación estándar de disparidad (sin estandarizar).

**Tabla 8.** Interpretación de los resultados modelo 2

Variable	Coficiente	Valor-p	Significancia	Interpretación
z_gini	0.3276	0.287	No significativa	Un aumento de 1 desviación estándar en el Gini se asocia con un aumento del 32.8% en el PIB agropecuario (en términos logarítmicos), pero no es estadísticamente significativo.
z_areaHa	0.3452	0.183	No significativa	Un aumento de 1 desviación estándar en el área agrícola disponible se asocia con un aumento del 34.5% en el PIB agropecuario (en términos logarítmicos), pero no es estadísticamente significativo.
desvdisparidad	1.0936	0.018	Significativa	Un aumento de una unidad en la desviación estándar de la disparidad se asocia con un aumento del 109.4% en el PIB agropecuario, y es estadísticamente significativa al 5%.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo es globalmente significativo ( $F(3, 26)=8.47$ ,  $p<0.001$ ) y explica el 49.4% de la variabilidad del PIB ( $R^2=0.494$ ), indica que el 50% restante se debe a otros factores. El único predictor estadísticamente significativo es la desviación estándar de la disparidad interna (desvdisparidad), con un coeficiente de 1.09 ( $p=0.018$ ). Esto sugiere que no es solo la desigualdad (Gini) o el tamaño (área) lo que importa, sino la heterogeneidad de las condiciones socioeconómicas dentro de cada departamento. Un aumento de una unidad en esta heterogeneidad se asocia con un incremento del 109% en el PIB agroindustrial. Ni el Gini ni el área agrícola fueron significativos una vez que se controló por este factor.

### *Análisis del Caso de Boyacá: Potencial y Brechas Estructurales*

Boyacá contextualiza los resultados nacionales. A pesar de sus favorables condiciones agroecológicas (clima frío y templado) y su aporte al PIB agropecuario nacional (4.3%), el departamento enfrenta brechas tecnológicas críticas. Datos de la ENA (DANE, 2019) indican que solo el 5.1% de sus unidades productivas utilizan maquinaria y apenas el 1.8% del área cultivada cuenta con sistemas de riego, cifras muy inferiores a los promedios nacionales (16.6% y 4.8%, respectivamente).

Esta brecha coexiste con una extrema concentración de la producción (Gini de 0.96) y una alta volatilidad en sus exportaciones (**Figura 2**), lo que denota una vulnerabilidad estructural.

Pese a estos desafíos, Boyacá posee un alto potencial en cultivos emergentes con demanda internacional (aguacate Hass, cacao) y en la transformación de productos tradicionales (papa, lácteos) hacia mercados de mayor valor. La agroindustria de la caña panelera, las frutas de clima frío y cultivos como la quinua y la cebada también presentan oportunidades estratégicas (**Tabla 10**). La clave para materializar este potencial radica en cerrar las brechas identificadas.

A pesar de estos desafíos, Boyacá posee un alto potencial en cultivos emergentes con demanda internacional como el aguacate Hass y el cacao, y en la transformación de productos tradicionales como la papa y los lácteos, orientados a mercados de mayor valor agregado. La agroindustria de la caña panelera, las frutas de clima frío y los cultivos de quinua y cebada también presentan oportunidades estratégicas para el desarrollo regional.

Los productos de cultivo tradicional y comercial distribuidos en los diferentes municipios, como la papa especialmente en Ventaquemada, Tuta y Tunja; la cebolla larga y cabezona son fundamentales en la economía agroindustrial del departamento, en Aquitania y las frutas de clima frío: la manzana, durazno, pera y feijoa, de las regiones de Nuevo Colón y Paipa.

Y los cultivos agroindustriales emergentes y reconocidos por su producción de panela, un producto clave en la agroindustria local como son: la caña panelera de los municipios de Moniquirá y Santana. El café de excelente calidad en zonas de clima templado como Chitaraque y Muzo. La quinua, Este cultivo ha ganado importancia en los últimos años por su alto valor nutricional y su demanda en mercados internacionales.

Entre otros cultivos para transformación y agroindustria, se destaca: el cacao, cultivado en regiones cálidas como el Valle de Tenza y Muzo, con potencial para productos derivados como chocolates y manteca de cacao. El aguacate Hass, su producción ha crecido en municipios como Chiquinquirá, con miras a la exportación y los lácteos y derivados como quesos, especialmente en Paipa, Sotaquirá y Toca.

Estos productos han venido impulsando la agroindustria en Boyacá, favoreciendo la creación de empresas de transformación y exportación, están emergiendo debido a factores como la demanda del mercado, la innovación tecnológica y el acceso a

cadenas de valor. Los más prometedores que pueden diversificarse en productos de valor agregado, con demanda internacional y que cuentan con apoyo institucional para su desarrollo se listan en la **Tabla 9**.

*Tabla 9. Cultivos potenciales agroindustriales en Boyacá con demanda internacional*

Tipo de Cultivo	Producto	Zona de Producción	Oportunidades	Potencial
Cultivos con Potencial para la Transformación Agroindustrial	Cacao	Valle de Tenza, Muzo, Otanche	Producción de chocolates finos, manteca de cacao, cosméticos y productos derivados	Creciente demanda internacional por cacao fino de aroma, diferenciación por calidad y procesos de certificación orgánica
Cultivos con Potencial para la Transformación Agroindustrial	Aguacate Hass	Chiquinquirá, Moniquirá, Pauna	Transformación en aceites, guacamole procesado y pulpa congelada	Mercado de exportación en Europa y EE.UU., incentivos para certificaciones de calidad
Cultivos con Potencial para la Transformación Agroindustrial	Uchuva y otras frutas exóticas (gulupa, maracuyá, feijoa, curuba)	Occidente de Boyacá, Nuevo Colón, Ventaquemada	Jugos naturales, deshidratados, mermeladas y concentrados	Alta demanda en mercados internacionales y posibilidad de valor agregado
Cultivos Emergentes con Potencial Industrial	Cebada y Quinoa	Valle de Sogamoso, Nobsa, Duitama	Producción de cerveza artesanal, harinas y productos de panadería	Sustitución de importaciones y crecimiento del mercado de alimentos saludables
Cultivos Emergentes con Potencial Industrial	Caña Panelera	Moniquirá, Santana, Togüí	Producción de panela pulverizada, panela saborizada y bioplásticos a partir del bagazo	Innovación en empaques y diversificación de productos para exportación
Cultivos Emergentes con Potencial Industrial	Plantas aromáticas y medicinales (toronjil, manzanilla, menta, stevia)	Soracá, Cómbita, Siachoque	Infusiones, aceites esenciales y productos nutracéuticos	Crecimiento del mercado de productos naturales y farmacéuticos

Fuente: Elaboración propia.

De otro lado, Boyacá presenta una concentración de la producción agropecuaria extremadamente alta, con un índice de Gini de 0.96. Esta desigualdad se debe a factores como la tenencia inequitativa de la tierra y el acceso desigual a tecnología, crédito y mercados, lo que genera graves consecuencias: limita la competitividad de los pequeños productores, fomenta la migración rural y debilita la sostenibilidad del sector. En definitiva, esta concentración es una barrera para el crecimiento y limita el aporte de Boyacá al PIB agropecuario nacional (4.3%), que podría ser mayor con una distribución más equitativa.

Si se tiene en cuenta que las siguientes características respecto a la producción: Boyacá posee diversidad de cultivos y productos agrícolas, destacando la producción de papa, cebolla, tomate, zanahoria, arveja, caña panelera, entre otros. La tecnificación ha permitido mejorar los rendimientos de estos cultivos, optimizando las prácticas agrícolas y adoptando nuevas tecnologías.

A pesar de los avances tecnológicos, los pequeños productores enfrentan altos costos de producción, especialmente en insumos y recursos como el agua para riego. La falta de infraestructura adecuada y la dependencia de métodos tradicionales incrementan los gastos operativos, afectando la rentabilidad.

Se presentan limitantes en la agricultura familiar y generación de ingresos: Estudios en municipios como La Capilla han demostrado que los sistemas de producción campesinos pueden generar ingresos significativos para los hogares rurales, en algunos casos alcanzando hasta el 100% de los ingresos familiares. Sin embargo, las limitaciones en acceso a la tierra y recursos tecnológicos pueden restringir este potencial.

El sector agropecuario es una fuente principal de empleo en Boyacá, representando aproximadamente el 33,39% de las actividades económicas del departamento. La tecnificación ha contribuido a la creación de empleos especializados en áreas como manejo de maquinaria agrícola, implementación de sistemas de riego tecnificados y prácticas de cultivo avanzadas.

### *Análisis estructura socioeconómica e indicadores de tecnificación agrícola en Boyacá, frente al sector colombiano.*

Las visitas a propietarios de los diversos cultivos de tubérculos y vegetales, evidenciaron muchas de las problemáticas señaladas en el proyecto. Durante estas visitas, se analizaron en detalle los modelos de producción, así como las deficiencias tecnológicas, sociales y económicas que enfrentan las familias encargadas de estas actividades. Según el “Plan de Desarrollo Departamental 2016-2019” de la **Gobernación de Boyacá (2019)**, la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019 del DANE y AGROSAVIA se identificó:

El porcentaje de uso de maquinaria en el sector agropecuario en Boyacá es del 5.1%, comparado con el promedio nacional del 16.6%. Lo que indica un uso limitado de tecnología en el campo colombiano.

La infraestructura Agropecuaria: Solo cuenta con el 5% de las unidades de producción cuentan con construcciones agropecuarias, frente al 16.8% a nivel nacional.

El Sistemas de Riego: El 1.8% del área cultivada en Boyacá dispone de sistemas de riego, mientras que el promedio nacional es del 4.8%; y la innovación en procesos productivos: Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)-**DANE (2019)**, el 5.2% de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) introdujeron algún tipo de innovación en sus procesos productivos, de comercialización o administrativos.

*Análisis aspectos generales en tecnología, infraestructura vial y logística para Colombia.*

La innovación en procesos productivos, según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) de 2019, el 5.2% de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) en el país introdujeron algún tipo de innovación en sus procesos productivos, de comercialización o administrativos.

El uso de maquinaria solo representó el 16.4% de las fincas emplean maquinaria en sus actividades agropecuarias, lo que indica un uso limitado de tecnología en el campo colombiano. Estos datos sugieren que la adopción de tecnologías avanzadas en el sector agropecuario colombiano es aún limitada. La calidad de la infraestructura vial y el acceso a mercados de comercialización varían significativamente entre los departamentos, influenciados por factores como inversión pública, geografía y desarrollo económico. De acuerdo con los informes disponibles, la calidad en infraestructura vial y logística se encuentra que:

La Guajira: Encabeza la lista de regiones con las vías en peor estado, debido a la inversión reducida en mejoras de infraestructura vial.

Risaralda: Registra el costo de transporte por kilómetro y tonelada más elevado del país, alcanzando \$696.5, lo que sugiere desafíos en la calidad y eficiencia de sus vías.

Casanare: Reconocido por tener una red vial de buena calidad, con la mayoría de sus municipios interconectados por carreteras asfaltadas.

Desafíos Generales en Infraestructura Vial: Un estudio del Fondo Monetario Internacional destaca que en Colombia se requieren siete horas para recorrer 300 kilómetros, el doble que, en otros países, atribuido a problemas de corrupción y construcciones de mala calidad (CEPAL, 2020)

El acceso a mercados de comercialización: Bogotá: Representa el 31.8% del mercado nacional de moda, indicando un acceso significativo a mercados de comercialización. Medellín: Contribuye con el 10% del mercado nacional, reflejando una infraestructura comercial robusta. Cali: Aporta el 6.1% del mercado nacional, evidenciando un acceso considerable a mercados y Barranquilla: Participa con el 4.1% del mercado nacional, mostrando una presencia notable en términos de comercialización).

La tecnificación agrícola en Colombia ha tenido diversos impactos económicos en los departamentos del país, afectando variables como producción, costos, ingresos y empleo, los cuales se listan en la **Tabla 10**.

*Tabla 10. Impactos económicos por departamentos de la tecnificación agrícola*

Departamento	Producción e Ingresos	Empleo
Antioquia	Cartama: 714.000 árboles de aguacate Hass en 6.000 ha (18 municipios). Ingresos proyectados en 2023: 80 millones de dólares por exportaciones.	Más de 2.000 empleos directos generados.

Casanare	Hacienda San José: Ganadería sostenible con sistemas silvopastoriles, aumentando productividad y reduciendo huella de carbono en un 46%.	Nuevas oportunidades de empleo y educación en prácticas sostenibles.
Cauca	Chocomueic (Guapi): Producción de chocolate con cacao local de 20 cultivadores, fortaleciendo la economía regional.	Empleo para 20 mujeres de la comunidad, impulsando su empoderamiento.
Meta	Hacienda San José (Orinoquía): Agricultura regenerativa y selección genética avanzada para carne, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero.	Nuevas oportunidades laborales y educación sostenible para granjas vecinas.
Nariño	Estudio en Pacífico, Norte y Centro de Nariño: El acceso al crédito y asistencia técnica son claves para mejorar la producción agrícola y los ingresos.	No se especifican datos directos de empleo.
Sucre	Sistemas de producción campesinos en San Marcos y San Benito Abad: Generan hasta el 100% de los ingresos de los hogares rurales.	No se especifican datos directos de empleo.

---

Fuente: Elaboración propia.

La tecnificación y la adopción de prácticas sostenibles en la agricultura colombiana han impactado positivamente en la producción, los costos, los ingresos y el empleo en diferentes departamentos del país. Comparado con el departamento de Boyacá el impacto también ha sido significativo en diversas variables económicas; siendo el sector agropecuario muy importante en el desarrollo económico y social de Colombia. Este sector genera más del 20% del empleo a nivel nacional y también es responsable de cerca del 50% de los empleos en las zonas rurales. Además, su producción es esencial para suministrar de alimentos tanto en áreas urbanas como rurales, y para proveer materias primas necesarias para la agroindustria de forma que sean comercializarlas con otras ciudades.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de este estudio confirman que la tecnificación agroindustrial es un factor importante para aumentar la productividad en Colombia, pero su efectividad está profundamente mediada por las disparidades territoriales y las condiciones agroecológicas. En particular, se valida que el acceso a infraestructura, tecnología y capacitación, en conformidad con lo expuesto por [Acosta-González et al. \(2021\)](#), es esencial para el desarrollo del sector; sin embargo, dichos factores operan dentro de estructuras socioeconómicas desiguales que determinan su impacto.

Desde un enfoque estructural, el análisis ANCOVA muestra que el clima influye significativamente en el PIB agroindustrial, siendo las zonas templadas y frías más productivas que las cálidas. Esta ventaja agroecológica, como argumenta [Porter \(1990\)](#), permite una especialización eficiente de cultivos en regiones como el altiplano

cundiboyacense (papa, flores, quinua), alineándose con los principios agroecológicos de [Altieri \(1995\)](#), que proponen una agricultura adaptada al territorio.

No obstante, uno de los hallazgos más reveladores es la correlación positiva entre desigualdad interna y mayor PIB agroindustrial, lo cual no indica que la desigualdad sea beneficiosa, sino que el crecimiento ha sido concentrado en zonas con mejor infraestructura y capital, generando islas de modernidad dentro de departamentos con amplias zonas rezagadas. Este patrón se explica desde las teorías de aglomeración ([Fujita et al., 1999](#); [Venables, 2007](#)) y resalta la urgencia de cerrar brechas territoriales para evitar el reforzamiento de desigualdades estructurales ([Cortés, 2004](#)).

Boyacá ejemplifica este rezago: sus niveles de tecnificación (uso de maquinaria, infraestructura, riego) están muy por debajo del promedio nacional. Este bajo nivel puede entenderse desde la teoría de difusión de innovaciones de [Rogers \(2003\)](#), que destaca cómo la falta de capital inicial, complejidad tecnológica y escasa capacitación frenan la adopción. La situación se agrava con el altísimo índice de Gini agropecuario (0.96), que refleja una concentración de la tierra y la producción que impide un crecimiento inclusivo.

Como respuesta a estas barreras, el fortalecimiento de la asociatividad se presenta como una estrategia clave, aunque su éxito requiere superar la desconfianza social y construir un sistema sociotécnico articulado ([Geels, 2004](#)), apoyado por políticas públicas y redes de innovación locales. Además, en el contexto actual, es crucial aprovechar los residuos agroindustriales como fuente de energía limpia y materia prima para productos de alto valor ([Salcedo-Puerto et al., 2025](#); [Cano-Gómez et al., 2025](#)). Tecnologías como el secado solar ([Ortiz-Rodríguez et al., 2022](#)) y la valorización de biomasa lignocelulósica ([Hiloidhari et al., 2019](#)) pueden fomentar una economía circular rural, aportando a la sostenibilidad y reduciendo la carga ambiental del sector.

En términos de inserción en mercados, la industrialización con enfoque territorial debe considerar no solo el clima, sino la organización de redes regionales para productos como leguminosas, donde la sustitución de importaciones es viable mediante agrupaciones productivas con infraestructura adecuada ([Ovchinnikov et al., 2018](#); [IPCC, 2021](#)).

Como recomendaciones claves se sugiere: Implementar tecnificación con enfoque territorial, priorizando regiones con ventajas agroecológicas pero rezago tecnológico; fortalecer la asociatividad rural, promoviendo redes cooperativas con apoyo institucional y técnico; invertir en infraestructura productiva y vial, particularmente en regiones de clima frío y templado con alto potencial agroindustrial; fomentar el uso de residuos agroindustriales mediante incentivos para energías limpias y producción circular; desarrollar programas de capacitación rural, adaptados al contexto sociotécnico local y con financiamiento para pequeños productores; promover políticas diferenciadas por región, que integren criterios de disparidad territorial y agroecología para maximizar el impacto del desarrollo rural sostenible.

En síntesis, el análisis de los resultados evidencia que la diversidad climática y altitudinal de Colombia, aunque constituye una fortaleza para la diversificación agroindustrial, también plantea importantes desafíos de equidad territorial y adopción tecnológica. Las condiciones climáticas extremas (como los climas fríos de montaña y los tropicales húmedos) y las brechas en infraestructura rural limitan la capacidad de los territorios rezagados para aprovechar su potencial productivo. En departamentos como Boyacá, la elevada desigualdad en la distribución de la tierra y la alta concentración productiva (índice de Gini de 0.9563) refuerzan estas limitaciones, reduciendo la competitividad y dificultando la sostenibilidad del sector.

A su vez, la falta de infraestructura vial, de riego y de conectividad digital impide una integración efectiva a los mercados nacionales e internacionales, restringiendo la incorporación de innovación, mecanización y prácticas sostenibles. En contraste, los territorios con mayor desarrollo logístico y tecnológico (como Antioquia o Cundinamarca) pueden adaptarse con mayor rapidez a los cambios climáticos y de mercado, profundizando las desigualdades regionales.

Por tanto, los hallazgos sugieren la necesidad de formular políticas públicas diferenciadas, que reconozcan las particularidades climáticas, topográficas y socioeconómicas de cada región. Estas políticas deben promover infraestructura resiliente, financiamiento rural, transferencia tecnológica y sistemas productivos adaptativos que fortalezcan la sostenibilidad y equidad territorial. Es decir, la relación entre desigualdad productiva, condiciones climáticas extremas y rezagos de infraestructura debe abordarse desde un enfoque territorial que combine equidad, innovación y sostenibilidad, como base para el desarrollo agroindustrial inclusivo en Colombia.

## CONCLUSIONES

Este estudio identificó y analizó los determinantes de la tecnificación agraria en Boyacá y Colombia, concluyendo que esta depende de una compleja interacción entre condiciones agroecológicas, infraestructura y disparidades socioeconómicas.

Se confirmó que los climas templados y fríos, predominantes en Boyacá, ofrecen una ventaja productiva significativa. Sin embargo, este potencial se ve frustrado por profundas brechas en tecnología e infraestructura, y por una extrema concentración de la tierra (Gini de 0.96).

La correlación positiva entre la disparidad interna y el PIB agroindustrial revela un modelo de crecimiento concentrado en polos específicos, lo que reproduce y agrava las desigualdades regionales. Boyacá es un caso emblemático de este fenómeno: un territorio con alto potencial pero limitado por barreras estructurales. Superar este rezago exige una intervención integral que combine inversión en infraestructura, fortalecimiento de la asociatividad, acceso al crédito y programas de capacitación técnica, enmarcados en un enfoque territorial diferenciado.

Finalmente, se proyectan oportunidades emergentes ligadas a los pequeños y medianos productores que decidan valorizar residuos agroindustriales, el uso

de tecnologías limpias como el secado solar, y la transición hacia una economía circular, les permite utilizar nuevas estrategias que no solo mejoren la sostenibilidad ambiental del sector, sino que también pueden generar nuevas fuentes de ingresos.

En conjunto, los hallazgos del estudio reafirman que la tecnificación no es un fin en sí mismo, sino una herramienta que debe estar al servicio de un desarrollo rural más equitativo, sostenible e incluyente. Para ello, es crucial avanzar hacia políticas públicas con enfoque territorial que reconozcan las asimetrías estructurales, promuevan la innovación social y productiva, y fortalezcan las capacidades locales en todo el ecosistema agroindustrial.

A pesar de la solidez metodológica del presente estudio, es necesario reconocer algunas limitaciones. En primer lugar, los datos promedio utilizados corresponden a un corte transversal entre los años 2022 a 2024, lo que impide capturar dinámicas de cambio en el tiempo y limita la posibilidad de establecer relaciones causales más robustas. En segundo lugar, la aproximación cuantitativa se centró en variables agregadas a nivel departamental, lo que puede ocultar heterogeneidades significativas entre municipios y actores productivos dentro de cada territorio. Asimismo, aunque la triangulación con fuentes documentales enriqueció la interpretación, el análisis cualitativo se basó en documentos institucionales, lo cual restringe la incorporación directa de percepciones de productores y comunidades rurales.

A partir de estas limitaciones, se abren varias líneas de investigación futuras. Una primera dirección consiste en desarrollar estudios longitudinales que integren series de tiempo para examinar los efectos de políticas públicas y choques climáticos sobre la tecnificación agroindustrial. En segundo lugar, resultaría valioso aplicar encuestas y entrevistas en profundidad a productores, asociaciones y comunidades locales, con el fin de captar perspectivas sociales que complementen los hallazgos macroeconómicos.

Asimismo, se recomienda explorar metodologías de econometría espacial que permitan analizar con mayor detalle las interdependencias territoriales y la concentración de la productividad. Finalmente, replicar este análisis en otros departamentos de Colombia y en contextos latinoamericanos con estructuras agrarias similares, no solo fortalecería la validez externa del estudio, sino que también incentivaría la generación de comparaciones regionales que iluminen rutas más inclusivas de desarrollo agroindustrial.

### DECLARACION DE AUTORIA

**Rojas-Triana:** Conceptualización y diseño metodológico del estudio; recopilación de datos; curación de datos; modelación; análisis formal; redacción, revisión y edición del manuscrito. **Vergel-Mendieta:** Conceptualización y diseño metodológico del estudio; recopilación de datos; revisión y edición del manuscrito.

## FINANCIACIÓN

Los autores reconocen el apoyo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia sede Tunja, por el suministro de recursos técnicos: Software STATA ver.15, operativos y financieros derivados del rubro 5% posgrados. El presente producto se deriva del proyecto de investigación titulado: “Estrategias de Desarrollo Sostenible en las Principales Ciudades de Colombia”, código SGI 3772.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresan que el trabajo sometido no representa ningún conflicto de interés con ellos, la revista, la entidad editora y las entidades financiadoras.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden agradecimientos al grupo de Investigación: La Sociedad Económica en Colombia - SOECOL, adscrito a la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, por apoyar el estudio en el marco del proyecto “Estrategias de Desarrollo Sostenible en las Principales Ciudades de Colombia”, código SGI 3772.

## REFERENCIAS

- Acosta-González, B.-V., Suarez-Pineda, M., & Parada-Camargo, J.-E. (2021). Pequeñas empresas agroindustriales en Tunja - Boyacá, Colombia: Una descripción del cambio organizacional. *Revista Científica*, 41, 184–198. <https://doi.org/10.14483/23448350.17638>
- AGROSAVIA. (2021). *Informe de resultados de investigación en Boyacá*. <https://bit.ly/4hLKXsd>
- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (2nd ed.). CRC Press.
- Anderson, J. R., & Feder, G. (2007). Agricultural extension. En R. Evenson & P. Pingali (Eds.), *Handbook of agricultural economics* (Vol. 3, pp. 2343–2379). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(06\)03044-1](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(06)03044-1)
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). (2017). *Estrategia para una nueva industrialización II*. <https://bit.ly/3W4q4HF>
- Banco de la República de Colombia (BanRep). (2023). *Reporte de economía y finanzas*. <https://bit.ly/3N6mEY6>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

- Cano-Gómez, C. I., Muñoz-Marquez, D. B., Reyes-Munguía, A., & Wong-Paz, J. E. (2025). Sustainable engineering and agro food processing renewable and nonrenewable resources. En *Litchi chinensis: Challenges and Opportunities in Agro-Industrial Waste Biorefineries* (pp. 3–22). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003561040-2>
- Cárdenas Pinzón, J. I., & Vallejo Zamudio, L. E. (2016). Agricultura y desarrollo rural en Colombia 2011–2013: una aproximación. *Apuntes del CENES*, 35(62), 87–123. <https://doi.org/10.19053/22565779.4411>
- CEPAL. (2020). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. <https://bit.ly/3WgXr9j>
- Conway, G. R., & Barbier, E. B. (2013). *After the Green Revolution: Sustainable agriculture for development*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315066820>
- Cortés, E. (2004). *Sector agropecuario y desarrollo rural: una mirada integral*. Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/4gUhzVY>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications. <https://bit.ly/3N9m7aG>
- DANE. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*. <https://bit.ly/3CpJGIA>
- DANE. (2021). *PIB por departamento*. <https://bit.ly/3Wk0yPp>
- DANE. (2022). *Cuentas Nacionales Departamentales*. <https://bit.ly/4gWqP9v>
- De Janvry, A., & Sadoulet, E. (2001). Income strategies among rural households in Mexico: The role of off-farm activities. *World Development*, 29(3), 467–480. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00113-3)
- Evenson, R. E., & Gollin, D. (2003). Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758–762. <https://doi.org/10.1126/science.1078710>
- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs: Principles and practices. *Health Services Research*, 48(6pt2), 2134–2156. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE Publications. <https://bit.ly/3AFh1SH>
- Finagro. (2023). *Crecimiento del sector agropecuario y AgroExpo 2023, un reto hacia el desarrollo del campo*. <https://bit.ly/4fFs4bE>
- Fujita, M., Krugman, P., & Venables, A. J. (1999). *The spatial economy: Cities, regions and international trade*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6389.001.0001>
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6-7), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>

- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 12(1), 78–104. <https://doi.org/10.1080/09692290500049805>
- Gereffi, G., & Lee, J. (2016). Economic and social upgrading in global value chains and industrial clusters: Why governance matters. *Journal of Business Ethics*, 133(1), 25–38. <https://doi.org/10.1017/9781108559423.011>
- Gobernación de Boyacá. (2019). *Plan de Desarrollo Departamental 2016-2019*. <https://bit.ly/3Cp0Rhv>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill. <https://bit.ly/4hN2SHF>
- Hiloidhari, M., Bhuyan, N., Gogoi, N., & Katakai, R. (2019). Refining biomass residues for sustainable energy and bioproducts. En *Agroindustry wastes: Biofuels and biomaterials feedstocks for sustainable rural development* (pp. 357–388).
- IGAC. (2022). *Informe de gestión anual 2022*. <https://bit.ly/3CpJFLA>
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Johnston, B. F., & Mellor, J. W. (1961). The role of agriculture in economic development. *American Economic Review*, 51(4), 566–593.
- Leibovich, J., & Estrada, L. (2008). *Competitividad del sector agropecuario colombiano*. Consejo Privado de Competitividad. <https://bit.ly/3CqHXTu>
- Marshall, A. (1920). *Principles of economics*. Macmillan. <https://bit.ly/3WvD3pP>
- Milanovic, B. (2016). *Global inequality: A new approach for the age of globalization*. Harvard University Press.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Consuma lo nuestro sabor de Colombia*. <https://bit.ly/3AFgnwA>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Estadísticas del sector agropecuario*. <https://bit.ly/3CqRc8s>
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Ocampo, J. A. (2019). Una brevísima historia económica colombiana. *La República*. <https://bit.ly/3WsOJ5P>
- Ortiz-Rodríguez, N. M., Condorí, M., Durán, G., & García-Valladares, O. (2022). Solar drying technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications. *Applied Thermal Engineering*, 215, 118993. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118993>

- Ovchinnikov, A. S., Ivanova, N. V., & Balashova, N. N. (2018). Development of the functioning mechanism of regional agro-food cluster «Volga Chickpea». *Espacios*, 39(36). <https://bit.ly/3NiTTvj>
- Pike, A., Rodríguez-Pose, A., & Tomaney, J. (2017). *Local and regional development*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315767673>
- Pingali, P. (2007). Agricultural mechanization: Adoption patterns and economic impact. *Handbook of Agricultural Economics*, 3, 2779–2805. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(06\)03054-4](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(06)03054-4)
- Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. Free Press.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Rodríguez-Pose, A. (2018). The revenge of the places that don't matter (and what to do about it). *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 11(1), 189–209. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx024>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press. <https://bit.ly/4iGl7Fx>
- Salcedo-Puerto, O., Mendoza-Martinez, C., & Vakkilainen, E. (2025). Colombian agroindustrial crop residues: Thermochemical characterization and evaluation of their energy potential. *Energy Reports*, 13, 1802–1816. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.01.041>
- Schreier, M. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. Sage.
- Schultz, T. W. (1964). *Transforming traditional agriculture*. Yale University Press.
- Sedgwick, P. (2014). Cross sectional studies: Advantages and disadvantages. *BMJ*, 348, g2276. <https://doi.org/10.1136/bmj.g2276>
- Storper, M. (1997). *The regional world: Territorial development in a global economy*. Guilford Press. <https://bit.ly/4gV9NEv>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics* (7th ed.). Pearson.
- Venables, A. J. (2007). New economic geography. *Journal of Economic Geography*, 7(1), 1–7.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Wooldridge, J. M. (2020). *Introductory econometrics: A modern approach* (7th ed.). Cengage Learning.

**World Bank. (2019).** *Trading across borders: The role of logistics in global agriculture.*  
World Bank Group. <https://bit.ly/3N7ScTY>

### BIODATA

**María Isabel Rojas-Triana** es Licenciada en Matemáticas y Estadística, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. Especializada en Estadística Aplicada, Fundación Universitaria Los Libertadores – Bogotá. Magister en Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia – Bogotá y Doctora en Ciencias Económicas Administrativas, Universidad para la Cooperación Internacional México. Docente Asociada de planta Área Cuantitativa de la Escuela de Economía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6931-445X>

**Oscar Eduardo Vergel-Mendieta** es Estudiante de quinto semestre de la Escuela de Economía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) Tunja. Participa en proyectos centrados en economía social, desarrollo territorial y análisis económico. Tiene interés en comprender las dinámicas económicas el país y en portar desde la investigación a los retos sociales y estructurales de Colombia. Integrante estudiante semillero del grupo de investigación SOECOL adscrito a la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la UPTC. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0107-3450>

## ANEXOS

### Anexo A. Estimación Modelo 1. Efectos clima y disparidad sobre pib agrario

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	32
Model	77.1927742	4	19.2981935	F(4, 27)	=	26.09
Residual	19.9705833	27	.739651233	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.7945
				Adj R-squared	=	0.7640
Total	97.1633575	31	3.13430185	Root MSE	=	.86003

lnpibagro	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Dtemplado	1.568767	.5802326	2.70	0.012	.3782283 2.759306
Dfrio	1.055238	.3852024	2.74	0.011	.2648683 1.845608
Dparamo	.7575882	.4302414	1.76	0.090	-.1251942 1.640371
Indisparidad	2.091952	.598932	3.49	0.002	.8630447 3.320858
_cons	-5.522788	.8891978	-6.21	0.000	-7.347271 -3.698305

```

. estat hettest residuales
Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
Ho: Constant variance
Variables: residuales

chi2(1) = 0.05
Prob > chi2 = 0.8200

. sktest residuales
Skewness/Kurtosis tests for Normality
Variable | Obs | Pr(Skewness) | Pr(Kurtosis) | adj | joint |
residuales | 32 | 0.8787 | 0.6168 | 0.27 | 0.8721
    
```

Variable	VIF	1/VIF
Indisparidad	1.72	0.582631
Dtemplado	1.59	0.627704
Dfrio	1.58	0.632993
Dparamo	1.22	0.819649
Mean VIF	1.53	

Nota: datos procesados en STATA. Tomados de DANE y datos abiertos gobierno de Colombia.

### Anexo B. Modelo 2. Efecto del Gini, área agrícola (Ha) y disparidad en el crecimiento del Pib Agropecuario por departamentos.

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	29
Model	36.0587556	3	12.0195852	F(3, 26)	=	8.47
Residual	36.8760414	26	1.41830928	Prob > F	=	0.0004
				R-squared	=	0.4944
				Adj R-squared	=	0.4361
Total	72.934797	29	2.514993	Root MSE	=	1.1909

lnpibagro	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
z_gini	.3275725	.301493	1.09	0.287	-.2921553 .9473004
z_areaHa	.3451538	.2521951	1.37	0.183	-.1732408 .8635483
desvdisparidad	1.093576	.4330174	2.53	0.018	.2034962 1.983656

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	29
Model	42.907206	4	10.7268015	F(4, 25)	=	8.93
Residual	30.027591	25	1.20110364	Prob > F	=	0.0001
				R-squared	=	0.5883
				Adj R-squared	=	0.5224
Total	72.934797	29	2.514993	Root MSE	=	1.0959

lnpibagro	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
z_gini	.5072135	.2874671	1.76	0.090	-.084836 1.099263
z_areaHa	.2607264	.2347599	1.11	0.277	-.2227706 .7442233
desvdisparidad	.7668251	.4213241	1.82	0.081	-.1009081 1.634558
departamentos	.0282399	.0118265	2.39	0.025	.0038827 .0525971

Nota: Datos procesados en STATA. Información tomada DANE, Estadísticas económicas y datos abiertos gobierno de Colombia: DANE (2024), *Minagricultura* (2020), CID (2024).

**Anexo C. Correlación pib agropecuario, con nuevas variables.**

	Pib_Agrop	gini_perc50	Disparidad	areaHa
Pib_Agrop	1.0000			
gini_perc50	0.5628	1.0000		
Disparidad	0.4999	0.6661	1.0000	
areaHa	0.6021	0.4450	0.4342	1.0000

Nota: Datos procesados en STATA. Información tomada DANE, Estadísticas económicas y datos abiertos gobierno de Colombia: DANE (2024), [Minagricultura \(2020\)](#), CID (2024).