

AÑO 31 ESPECIAL 15, 2026
ENERO-JUNIO



AÑO 31 ESPECIAL 15, 2026

ENERO-JUNIO

Revista Venezolana de Gerencia



UNIVERSIDAD DEL ZULIA (LUZ)
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales
Centro de Estudios de la Empresa

ISSN 1315-9984

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_ES

Como citar: Largo-Avila, E., Aguirre-Méndez, S. L., Moreno-Betancourt, F., y Rubiano-Granada, J. D. (2026). Predicción de lógicas de costeo en pequeños productores agrícolas mediante árboles de decisión en ecosistemas cafeteros. *Revista Venezolana De Gerencia*, 31(Especial 15), e31e1512. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.31.e15.12>

Universidad del Zulia (LUZ)
Revista Venezolana de Gerencia (RVG)
Año 31 No. Especial 15, 2026, e31e1512
Enero-Junio
ISSN 1315-9984 / e-ISSN 2477-9423



Predicción de lógicas de costeo en pequeños productores agrícolas mediante árboles de decisión en ecosistemas cafeteros*

Largo-Avila, Esteban**
Aguirre-Méndez, Sandra Lorena***
Moreno-Betancourt, Fernando****
Rubiano-Granada, Juan David*****

Resumen

El objetivo principal del estudio consiste en analizar las lógicas de costeo en pequeños productores agrícolas del ecosistema cafetero de Caicedonia, Valle del Cauca (Colombia), con el propósito de explorar cómo distintos factores técnicos, económicos y ecológicos influyen en la formación del costo de producción por cultivo. A través del uso de árboles de decisión, se modelaron relaciones entre variables como altitud, densidad de siembra, mano de obra e insumos, considerando los sistemas agrícolas de café, naranja y plátano. La investigación adopta un enfoque cuantitativo apoyado en técnicas de aprendizaje automático, empleadas para identificar patrones de costeo que varían según las condiciones del entorno y las decisiones de manejo. Los resultados muestran que las estructuras de costo difieren entre cultivos y responden a combinaciones específicas de factores agroecológicos y económicos. En conjunto, el trabajo concluye

Recibido: 26.01.26

Aceptado: 31.03.26

- * Financiamiento y Agradecimientos: Este artículo se desarrolló en el marco del proyecto "Determinación del costo de producción de una hectárea de cultivos agrícolas en el ecosistema cafetero de Caicedonia, Valle del Cauca" (C.I. 9208), financiado por la convocatoria interna 162-2025 de la vicerrectoría de investigaciones de la Universidad del Valle y con el apoyo del Grupo GiiDCE – Sede Regional Caicedonia, (Colombia).
- ** PhD en Sistemas Energéticos. Profesor Asociado, Universidad del Valle. Grupo de Investigación Innovación y Desarrollo en Cafés Especiales GiiDCE. Universidad del Valle, Sede Regional Caicedonia. Correo: esteban.largo@correounivalle.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6047-1523>.
- *** Magíster en Administración. Docente ocasional, Universidad del Valle. Grupo de Investigación Innovación y Desarrollo en Cafés Especiales GiiDCE. Universidad del Valle, Sede Regional Caicedonia. Correo: sandra.aguirre@correounivalle.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-6385-3643>.
- **** PhD en Desarrollo Sostenible. Profesor Asociado, Universidad del Valle. Grupo de Investigación Innovación y Desarrollo en Cafés Especiales GiiDCE. Universidad del Valle, Sede Regional Caicedonia. Correo: fernando.moreno.b@correounivalle.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-3281-7918>.
- ***** Contador público Grupo de Investigación Innovación y Desarrollo en Cafés Especiales GiiDCE. Universidad del Valle, Sede Regional Caicedonia. Correo: rubiano.juan@correounivalle.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-0803-2704>.

con la propuesta de un enfoque metodológico que vincula la contabilidad agrícola con la modelación de datos, ofreciendo una herramienta útil para comprender la diversidad productiva y mejorar la planificación económica en contextos rurales de montaña.

Palabras clave: costeo agrícola; pequeños productores; ecosistema cafetero; árboles de decisión; contabilidad agrícola.

Predicting Cost Structures for Small-Scale Farmers Using Decision Trees in Coffee-Growing Regions

Abstract

The main objective of the study is to analyse costing logics among small agricultural producers in the coffee growing ecosystem of Caicedonia, Valle del Cauca (Colombia), with the purpose of exploring how different technical, economic, and ecological factors influence the formation of production costs per crop. Using decision trees, relationships were modelled among variables such as altitude, planting density, labor, and inputs, considering the agricultural systems of coffee, orange, and plantain. The research adopts a quantitative approach supported by machine learning techniques, employed to identify costing patterns that vary according to environmental conditions and management decisions. The results show that cost structures differ across crops and respond to specific combinations of agroecological and economic factors. Overall, the study concludes by proposing a methodological approach that links agricultural accounting with data modelling, offering a useful tool for understanding productive diversity and improving economic planning in rural mountain contexts.

Keywords: agricultural costing; smallholder farmers; coffee ecosystem; decision trees; agricultural accounting.

1. Introducción

El estudio del costeo en la agricultura campesina es especialmente relevante en territorios con alta diversidad agroecológica y limitaciones estructurales, donde la sostenibilidad económica de los pequeños productores depende de decisiones adaptativas más que de la aplicación de principios contables formales. En el ecosistema

cafetero del norte del Valle del Cauca, el costeo se construye combinando saber técnico, disponibilidad de recursos y respuesta a la incertidumbre climática y de mercado, lo que convierte la toma de decisiones en un proceso situado en el territorio (Penagos et al., 2021; Carrero et al., 2025).

La literatura reciente en contabilidad agrícola señala una transición hacia enfoques que integran componentes

económicos, ambientales y sociales. Potryvaieva y Levchenko (2025) destacan la necesidad de transformar los sistemas de costeo bajo principios de economía circular e incorporar información no financiera, mientras que Roque (2025) plantea que la agricultura 5.0 exige asumir responsabilidades ecológicas, incluyendo indicadores de biodiversidad, regeneración del suelo y captura de carbono.

Paralelamente, el aprendizaje automático ha comenzado a redefinir el análisis del desempeño agrícola al permitir predecir rendimientos, estimar precios y optimizar recursos mediante grandes volúmenes de datos (Polwaththa et al., 2024; Yogeshwaran, 2022; Ilyas et al., 2023; Adnan & Akber, 2026). Sin embargo, estos enfoques enfrentan limitaciones para ser aplicados en sistemas campesinos, donde la disponibilidad de información es reducida y las decisiones de manejo están influenciadas por factores ecológicos y culturales, lo que exige modelos de costeo que reconozcan la heterogeneidad territorial.

En este contexto, el ecosistema cafetero de Caicedonia ilustra cómo las diferencias de altitud, acceso a insumos y demanda de mano de obra generan estructuras de costo diversas entre cultivos como café, naranja y plátano. El costeo, por tanto, se entiende como una práctica social vinculada al conocimiento local y a la vida familiar más que como un simple registro financiero. El uso de árboles de decisión permite representar esta complejidad al identificar reglas de costeo sin depender de supuestos estadísticos rígidos, integrando variables técnicas, económicas y ecológicas (Casilimas et al., 2021; Trentin et al., 2024).

2. Conceptualización Teórica

La presente sección articula los principales enfoques teóricos que permiten comprender el costeo agrícola como un proceso situado, condicionado por factores productivos, ecológicos y sociales. A partir de una revisión progresiva, se integran perspectivas sobre agricultura campesina, contabilidad integral, territorialidad y modelación computacional, con el propósito de construir un marco analítico que sirva de base para interpretar empíricamente las decisiones de manejo y su incidencia en la estructura de costos. Este recorrido no pretende establecer una síntesis cerrada, sino delinear los ejes conceptuales desde los cuales se abordará el análisis posterior.

2.1. Lógicas de costeo en la agricultura campesina

En la agricultura campesina, el costeo trasciende el registro de insumos, mano de obra y maquinaria, pues surge de decisiones adaptativas que combinan saber técnico, legado agrario y respuestas a la variabilidad ecológica, lo que otorga a la contabilidad un carácter interpretativo más que operativo (Adelesi et al., 2023).

Los pequeños productores enfrentan incrementos en fertilizantes, pesticidas y combustibles, afectando su planificación y estructura de costos (Amankwah et al., 2024; Touch et al., 2024), mientras que enfoques como la contabilidad de costos totales permiten reconocer costos invisibles asociados a degradación del suelo, agotamiento hídrico o mano de obra familiar no remunerada (Bellon et al., 2024; Gemmill-Herren et al., 2021; Drogo et al., 2025). Además, las decisiones sobre

densidad de siembra, uso de insumos y fertilización están condicionadas por la escala productiva, la disponibilidad de recursos y la estructura familiar, lo que explica valores atípicos de ahorro, inversión y endeudamiento en pequeños productores (Díaz et al., 2022); a esto se suma que la restricción de crédito limita su capacidad de asumir y racionalizar costos (Chu, 2021; Bhatia et al., 2024). En síntesis, la contabilidad agrícola campesina es una práctica situada y adaptativa, inseparable del territorio y de las condiciones socioeconómicas que definen su sostenibilidad.

2.2. Contabilidad agrícola y aproximaciones integrales

La contabilidad agrícola ha evolucionado de un registro financiero tradicional hacia una comprensión integral del sistema productivo, donde los costos se interpretan como el resultado de decisiones técnicas y ambientales que expresan la interacción entre productor y entorno (Vittis et al., 2021). La incorporación de indicadores ambientales y sociales permite evaluar la eficiencia productiva en contextos con recursos limitados y prácticas basadas en saberes locales, convirtiendo la contabilidad en una herramienta de gestión estratégica que articula información financiera con datos ecológicos y facilita el análisis del impacto de las decisiones sobre la rentabilidad y la sostenibilidad (Fleming et al., 2024).

Este enfoque amplía el concepto de costo al integrar aspectos como degradación del suelo, uso del agua, emisiones de carbono y mano de obra familiar no remunerada, en línea con la necesidad de sistemas contables que midan no solo la rentabilidad sino

también los efectos sobre el territorio y los servicios ecosistémicos (Kryszak et al., 2021; OECD, 2022; Shen et al., 2025). De esta forma, la contabilidad agrícola se convierte en un puente entre economía y gestión ambiental, permitiendo anticipar riesgos, optimizar recursos y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas productivos.

2.3. Factores ecológicos y territoriales en el costeo agrícola

Los factores ecológicos y territoriales son determinantes en la configuración de los costos agrícolas, ya que variables como altitud, tipo de suelo, pendiente, disponibilidad de agua y régimen de lluvias influyen directamente en los insumos, la mano de obra y la productividad, generando heterogeneidad en sistemas de montaña donde los agricultores deben adaptar sus decisiones a las limitaciones del entorno (Gao et al., 2021).

Estas condiciones topográficas también afectan la mecanización, el transporte y los costos logísticos, lo que vuelve imposible aplicar modelos de costeo uniformes y exige una contabilidad agrícola sensible al contexto (Rincón-Zapata et al., 2021). A su vez, los factores territoriales incorporan dimensiones socioeconómicas como acceso a mercados, infraestructura vial, crédito y organización comunitaria, que condicionan no solo la estructura de costos sino también la rentabilidad y la sostenibilidad productiva (Bernal & Álvarez, 2021). Además, zonas ambientalmente vulnerables pueden restringir el uso de insumos o el tipo de cultivo, afectando la planificación financiera (Hilber et al., 2024).

En territorios con alta diversidad ecológica, como los ecosistemas cafeteros de montaña, estas interacciones muestran que el costo agrícola surge de la relación entre suelo, clima, cultura y decisiones de manejo, lo que demuestra que la economía rural es inseparable del ambiente y que la sostenibilidad depende de la capacidad de gestionar estas interacciones (Gómez & Pérez, 2024).

2.4. Modelación y aprendizaje automático en la agricultura

La modelación y el aprendizaje automático se han convertido en herramientas decisivas para la agricultura, ya que permiten procesar grandes volúmenes de información y detectar patrones complejos relacionados con productividad, eficiencia y gestión del riesgo. A diferencia de los enfoques estadísticos tradicionales, estos algoritmos reconocen relaciones no lineales entre factores ecológicos, técnicos y económicos, lo que resulta útil en contextos agrícolas con alta variabilidad (Benos et al., 2021).

Su integración con la agricultura de precisión ha posibilitado el uso de sensores, imágenes satelitales y registros productivos para monitorear variables como humedad del suelo, fertilización o presencia de plagas, optimizando insumos y reduciendo incertidumbre en la toma de decisiones (Gupta & Kumar, 2025). No obstante, su adopción en territorios campesinos requiere atender desafíos como calidad de datos, accesibilidad tecnológica e incorporación del conocimiento local, de manera que los modelos sean útiles y aplicables para los productores (Atapattu et al., 2024).

3. Perspectiva metodológica

Esta sección describe de manera progresiva las decisiones metodológicas que orientaron el desarrollo del estudio, desde la definición del enfoque y el diseño de investigación hasta los procedimientos de validación e interpretación de los resultados. En particular, se detallan los criterios de selección del área y la población, los mecanismos de recolección y depuración de datos, y las estrategias de modelación empleadas, con el fin de garantizar coherencia entre los objetivos analíticos, las técnicas utilizadas y el contexto territorial en el que se inscribe la investigación.

3.1. Enfoque y diseño de la investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con orientación explicativa y predictiva, fundamentado en la modelación estadística y el aprendizaje automático supervisado. Se aplicó un diseño no experimental y transversal, basado en información recolectada durante un único ciclo agrícola (2024–2025) en el municipio de Caicedonia, Valle del Cauca, Colombia. Este enfoque analizó las relaciones entre variables ecológicas, técnicas y económicas sin alterar las condiciones de los sistemas productivos, priorizando la interpretación empírica de los patrones de costeo observados en campo.

3.2. Área y población de estudio

El área de estudio comprende zonas rurales de Caicedonia, caracterizadas por una topografía de montaña media y alta, con altitudes

entre 1000 y 1600 metros sobre el nivel del mar. En este territorio coexisten tres sistemas agrícolas predominantes: café, naranja y plátano, cultivados por pequeños productores en unidades de una hectárea. Se seleccionaron cuarenta y cinco fincas mediante muestreo intencional, buscando capturar la variabilidad altitudinal y las diferencias en manejo agronómico, densidad de siembra y uso de insumos.

3.3. Recolección y estructuración de datos

La información se obtuvo a través de encuestas semiestructuradas, observación directa y revisión de registros contables. Se recolectaron variables técnicas (densidad de siembra, tipo de manejo, prácticas de fertilización, control de plagas), ecológicas (altitud, pendiente, disponibilidad hídrica, exposición solar) y económicas (costos de mano de obra, insumos, transporte y costo por hectárea). Los datos fueron depurados mediante análisis de consistencia, eliminación de valores atípicos y estandarización de unidades, asegurando la homogeneidad del conjunto para los tres cultivos.

3.4. Modelado mediante árboles de decisión

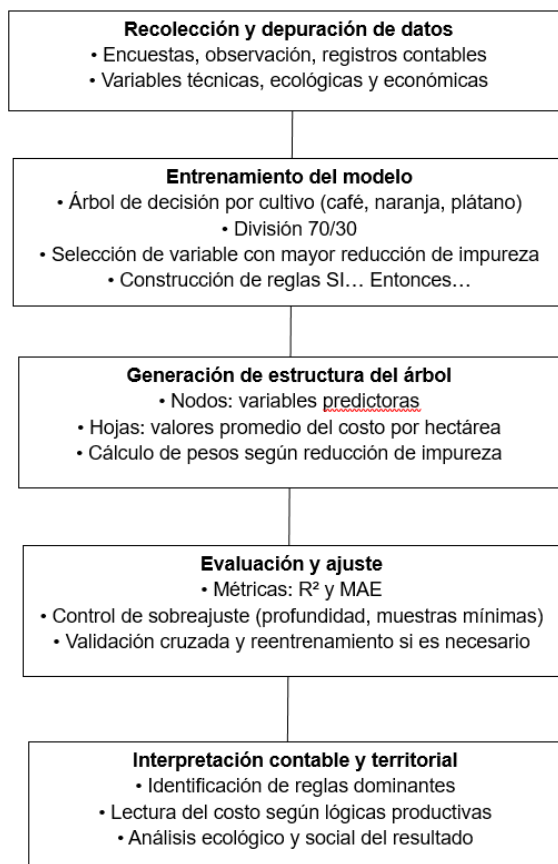
El análisis se desarrolló mediante

el algoritmo Decision Tree Regressor implementado en Python versión 3.12, utilizando scikit-learn versión 1.4 y pandas versión 2.2, con el propósito de identificar los factores que explican el costo total por hectárea. El modelo, propio del aprendizaje supervisado, divide sucesivamente el conjunto de datos para generar subgrupos homogéneos, seleccionando en cada nodo la variable que mayor reducción de impureza produce según el índice de Gini o el error cuadrático medio.

A partir de estas divisiones se construyen reglas jerárquicas del tipo si se cumple una condición entonces ocurre un resultado, de modo que las ramas representan trayectorias técnico-ecológicas y las hojas contienen el costo promedio estimado. Se entrenó un modelo por cultivo, usando el setenta por ciento de los datos para entrenamiento y el treinta por ciento para prueba, y el desempeño se evaluó mediante R^2 y el error absoluto medio.

Para evitar sobreajuste se limitaron la profundidad del árbol y el mínimo de muestras por hoja, manteniendo la interpretabilidad de las reglas generadas (Trentin et al., 2024). Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta el diagrama 1 con relación al diseño metodológico.

Diagrama 1 Diseño metodológico



3.5. Validación e interpretación

Los árboles generados fueron interpretados de forma comparativa entre los tres cultivos, identificando las variables con mayor peso relativo y las combinaciones de factores que explican las diferencias en costos. La validación incluyó tanto el contraste estadístico mediante métricas R^2 y MAE como la revisión empírica de

las reglas con productores locales, verificando su coherencia con las condiciones reales del territorio. A partir de los modelos obtenidos se elaboraron diagramas de importancia de variables y representaciones de las trayectorias de costeo, que fueron interpretadas desde la contabilidad rural y agronómica como expresiones de racionalidades económicas y ecológicas presentes en el ecosistema cafetero de Caicedonia.

4. Estructuras territoriales del costeo agrícola y patrones decisionales por cultivo

La modelación muestra que el costo agrícola no depende de decisiones aisladas, sino de una estructura relacional donde la altitud ordena las decisiones técnicas y condiciona la lógica de manejo: en zonas altas cambian la densidad de siembra, la forma de obtener el material vegetal y la frecuencia de fertilización y control sanitario, como respuesta a restricciones ecológicas. Los árboles de decisión evidencian que cada cultivo configura su costeo a partir de la interacción entre

factores del sitio y procesos productivos.

En términos de desempeño, el modelo de café es el más consistente, con R^2 de 0.996 en entrenamiento y 0.799 en prueba, y errores relativamente bajos (MAE de 53.2 y RMSE de 66.1). En naranja el ajuste disminuye más al pasar de entrenamiento a prueba (R^2 de 0.996 a 0.601, MAE de 58.7 y RMSE de 74.9), reflejando mayor variabilidad en su manejo. El plátano se ubica en un punto intermedio, con R^2 de 0.988 en entrenamiento y 0.641 en prueba, y errores de 57.5 y 75.5, lo que sugiere decisiones de manejo más heterogéneas. Estos resultados se resumen en la tabla 1.

Tabla 1
Desempeño del modelo por cultivo
(validación cruzada + prueba holdout)

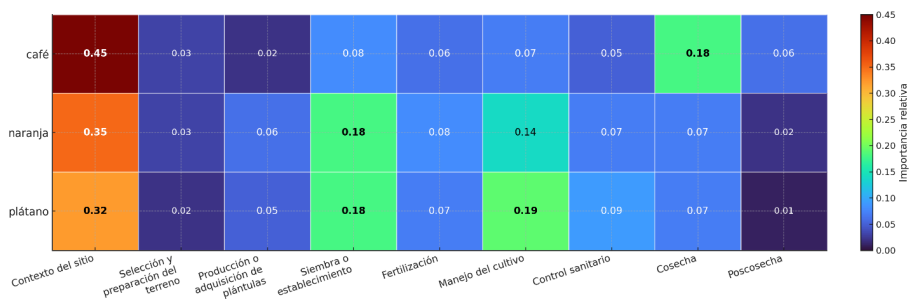
Cultivo	R^2 entrenamiento	R^2 prueba	MAE prueba	RMSE prueba
Café	0.996	0.799	53.2	66.1
Naranja	0.996	0.601	58.7	74.9
Plátano	0.988	0.641	57.5	75.5

El gráfico 1 muestra tres estructuras de costeo claramente diferenciadas entre café, naranja y plátano. En los tres casos el contexto del sitio es el factor de mayor peso, lo que confirma que la altitud, el acceso y la pendiente condicionan las decisiones técnicas antes que cualquier proceso operativo. Sin embargo, cada cultivo presenta una lógica distinta:

en café, los costos se concentran en la cosecha y la poscosecha por la alta demanda de mano de obra; en naranja, el peso recae en el establecimiento y el manejo del cultivo; y en plátano, el costo se orienta al manejo continuo y al control sanitario por la necesidad de intervenciones frecuentes.

1 R^2 indica el porcentaje de variabilidad del costo total explicado por el modelo. MAE corresponde al error absoluto medio entre lo observado y lo predicho, mientras que RMSE representa la raíz del error cuadrático medio, útil para identificar desviaciones mayores entre valores estimados y reales.

Gráfico 1
Importancia relativa por proceso y por cultivo

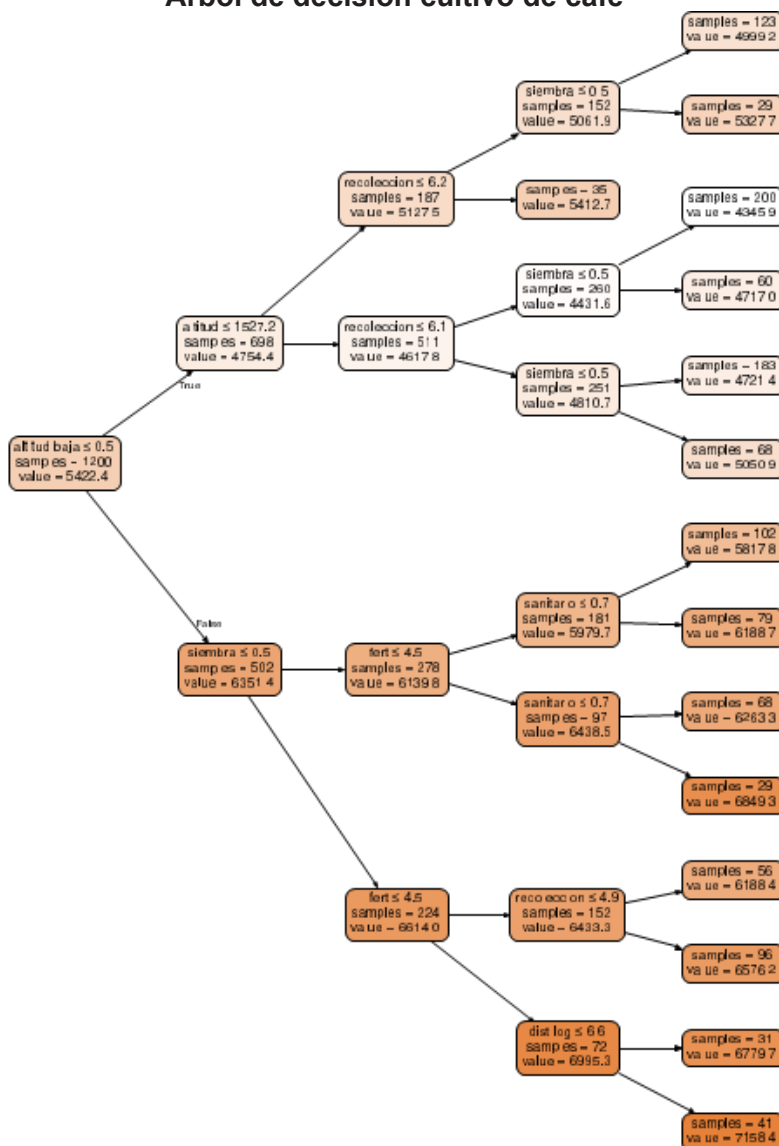


El diagrama 3 evidencia que la altitud es la variable que organiza la estructura de costos del cultivo de café, ya que aparece como el nodo inicial del árbol de decisión y condiciona todas las decisiones posteriores. Cuando el cultivo se encuentra cerca de los 1.600 metros, los costos se estructuran a partir de decisiones técnicas más eficientes: la producción o adquisición de plántulas implica menor riesgo de enfermedades, la siembra requiere menos correcciones y la fertilización, junto con el manejo del cafetal y el control sanitario, demanda menor intervención debido a una presión más baja de plagas, lo que reduce el uso de insumos.

En estas condiciones, el peso

del costo se concentra en la cosecha y la poscosecha, especialmente en mano de obra y logística. En contraste, cuando el cultivo se ubica alrededor de los 1.200 metros, el árbol muestra que la estructura de costos depende de intervenciones más intensivas: el terreno exige mayor preparación, las plántulas requieren procesos de desinfección más frecuentes, la fertilización debe aplicarse con mayor recurrencia y las labores de manejo y control sanitario son más exigentes, lo que incrementa el uso de insumos y mano de obra. De este modo, el diagrama 2 demuestra que la altitud determina si los costos se originan en eficiencia técnica o en la necesidad de compensar restricciones ambientales.

Diagrama 2
Árbol de decisión cultivo de café



En el cultivo de naranja, la altitud determina la lógica de costeo: cerca de 1.600 metros, los costos se originan en

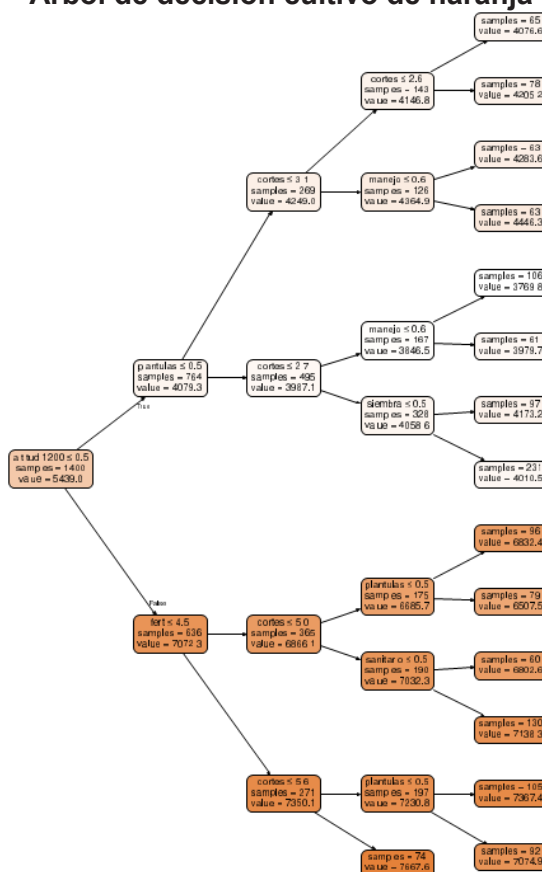
decisiones técnicas más eficientes, pues el establecimiento del cultivo depende de plántulas homogéneas y una siembra

adecuada que reduce resiembras, la fertilización se orienta a equilibrar el follaje y el manejo del cultivo involucra podas y raleo con menor presión de malezas y enfermedades, de modo que la cosecha y la poscosecha son más estables en costo.

En cambio, alrededor de 1.200 metros, el ambiente obliga a intervenciones correctivas: el terreno requiere más enmiendas, las plántulas deben reponerse con mayor frecuencia, la fertilización se intensifica para

sostener el crecimiento y el manejo del cultivo exige podas y controles sanitarios constantes por el aumento de plagas, lo que eleva también los costos de cosecha y poscosecha. Este comportamiento se observa en el diagrama 3, donde cada rama del árbol muestra cómo las decisiones técnicas responden a las restricciones impuestas por la altitud y cómo estas, en conjunto, explican la variabilidad del costo total por hectárea.

Diagrama 3
Árbol de decisión cultivo de naranja

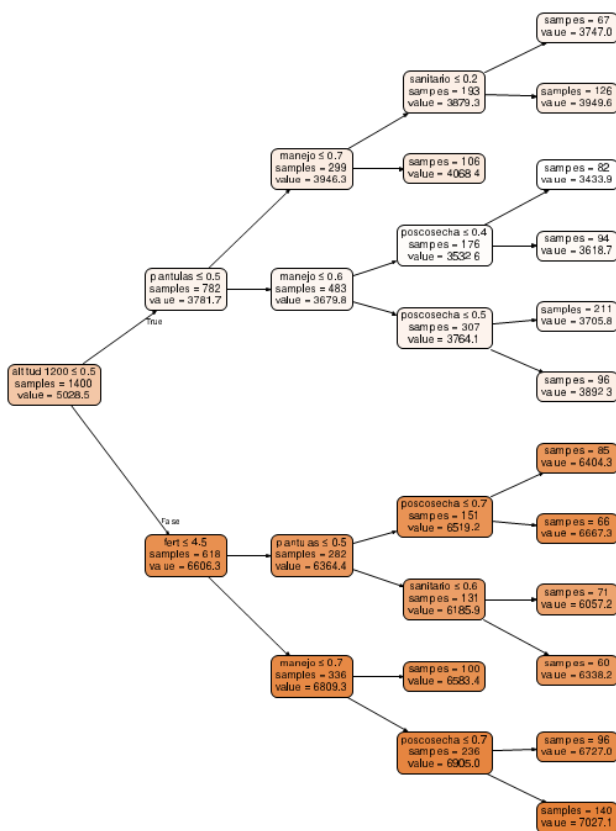


En el cultivo de plátano, la altitud define dos formas claras de estructurar el costo. Cerca de 1.600 metros, la menor presión de plagas y un crecimiento más homogéneo permiten decisiones eficientes: las plántulas tienen menor mortalidad, la siembra requiere menos reposición y la fertilización se optimiza, por lo que el manejo del cultivo concentra el costo, pero con pocas intervenciones correctivas.

En cambio, alrededor de 1.200 metros, el costo se vuelve intensivo en insumos y mano de obra: la preparación

del terreno requiere más movimientos, las plántulas deben desinfectarse, la siembra demanda tutorado frecuente y la fertilización se vuelve reactiva por pérdida de nutrientes; además, el control sanitario aumenta debido a la mayor presencia de plagas y enfermedades. La cosecha y la poscosecha también se encarecen por ciclos desuniformes y mayor clasificación del producto. El diagrama 4 evidencia este contraste mostrando cómo la altitud determina si el costo surge de eficiencia técnica o de intervenciones correctivas continuas.

Diagrama 4
Árbol de decisión cultivo de plátano



El cuadro 2 actúa como una traducción operativa de los árboles de decisión: toma las divisiones y nodos relevantes del modelo y los convierte en reglas contables aplicables según proceso y altitud. Mientras los árboles muestran qué variables explican el costo total y jerarquizan la importancia de actividades como siembra, fertilización, manejo o poscosecha, el cuadro organiza esos hallazgos en instrucciones

concretas sobre cómo asignar el costo y qué actividades requieren mayor seguimiento en alta o baja altitud. De esta manera, el cuadro no replica el modelo, sino que interpreta sus resultados y los adapta a decisiones contables prácticas, permitiendo que los aprendizajes del análisis automático puedan usarse en la planificación y registro del costeo agrícola.

Cuadro 2
Reglas contables por proceso, cultivo y altitud

Proceso del costo agrícola	Café – Altitud alta (1.600 m)	Café – Altitud baja (1.200 m)	Naranja – Altitud alta (1.600 m)	Naranja – Altitud baja (1.200 m)	Plátano – Altitud alta (1.600 m)	Plátano – Altitud baja (1.200 m)
Selección y preparación del terreno	Menor necesidad de correcciones; operación estable.	Requiere mayor uso de maquinaria y enmiendas.	Importancia moderada; estable.	Aumenta la necesidad de correcciones de acidez y nivelación.	Actividad necesaria pero controlada.	Requiere movimientos de suelo más intensivos.
Plántulas / material vegetal	Baja reposición por buena adaptación de plantas.	Mayor desinfección y reposición de plántulas.	Material vegetal homogéneo reduce resiembras.	Incrementa la reposición por variabilidad del crecimiento.	Baja mortalidad del material sembrado.	Requiere tratamientos para evitar patógenos.
Siembra / establecimiento	Establecimiento eficiente con poca intervención.	Mayor mano de obra para asegurar prendimiento.	Siembra eficiente por uniformidad.	Se intensifican las labores para garantizar establecimiento.	Menor necesidad de tutorado o refuerzo.	Mayor necesidad de refuerzos para evitar volcamiento.
Fertilización	Aplicación planificada y de baja frecuencia.	Aplicación frecuente para compensar pérdida de nutrientes.	Uso estratégico para regular crecimiento y copa.	Mayor cantidad de fertilización para sostener floración.	Programada y optimizada.	Aplicación reactiva debido a pérdida de nutrientes.
Manejo del cultivo (malezas, deshije, tutorado, sombra)	Menos intervención correctiva.	Manejo intensivo y constante.	Requiere podas y manejo de copa.	Manejo intensivo para regular estrés y densidad del cultivo.	Principal componente del costo por labores continuas.	Manejo intensivo y recurrente durante todo el ciclo.
Control sanitario	Bajo nivel de enfermedades; intervenciones mínimas.	Aumentan las aplicaciones preventivas y correctivas.	Reducción de enfermedades por menor humedad.	Mayor presencia de plagas y tratamientos obligatorios.	Baja incidencia sanitaria.	Mayor aparición de enfermedades y aplicaciones frecuentes.
Cosecha	La logística y la mano de obra definen el costo principal.	Mayor uso de mano de obra por variabilidad de maduración.	Estable y proporcional al volumen de fruta.	Se requieren más cortes y mayor selección de fruta.	Flujo de cosecha más eficiente.	Menos eficiencia por ciclos no uniformes.
Poscosecha / logística	Transporte y beneficio determinan el costo final.	Aumenta el costo por distancias y tiempos de traslado.	Flujo más eficiente por fruta homogénea.	Más clasificación y selección para cumplir calidad.	Proceso estable por homogeneidad del producto.	Se requiere clasificación adicional por variabilidad en la calidad.

Los resultados muestran que los árboles de decisión no solo predicen el costo por hectárea, sino que revelan patrones que explican cómo se asignan los recursos según la altitud, diferenciando dos lógicas productivas. En zonas altas, cercanas a 1.600 metros, los costos se originan principalmente en procesos eficientes: en café, la cosecha y la poscosecha concentran el gasto por la intensa demanda de mano de obra y transporte; en naranja, el foco está en el establecimiento y el manejo del cultivo; mientras que en plátano el manejo es más estable y con menor presión sanitaria.

En contraste, en altitudes alrededor de 1.200 metros, los costos responden a intervenciones correctivas para enfrentar mayor presión de plagas y variabilidad climática, lo que incrementa el uso de insumos y mano de obra, especialmente en plátano, donde el control sanitario se vuelve crítico. En síntesis, la altitud estructura el costo: a 1 600 metros predomina la eficiencia técnica; a 1 200 metros, la necesidad de corregir condiciones adversas.

4.1. Discusión de los resultados

La evidencia empírica muestra que el costo agrícola es un sistema condicionado por el ambiente, donde la altitud modifica el comportamiento de los cultivos, la presión de plagas y la intensidad de las labores, de modo que los costos no provienen solo de decisiones del productor, sino de restricciones ambientales que orientan la asignación de recursos (Mellaku & Sebsibe, 2022; Caulfield et al., 2025), revelando una lógica causal donde el costo resulta de la interacción entre biología del cultivo, complejidad operativa y decisiones de

manejo (Barakat et al., 2025).

La heterogeneidad en el desempeño de los modelos confirma que cada cultivo tiene una lógica de costeo distinta, cuestionando la aplicación de estructuras contables homogéneas (Awiti et al., 2022; Hernández-Ochoa et al., 2022): en café los costos se concentran en fases terminales más estables, mientras que en naranja y plátano se distribuyen en múltiples procesos como nutrición, formación y control sanitario. La traducción de los árboles de decisión en reglas operativas evidencia que la contabilidad agrícola puede pasar de un registro acumulativo a un sistema explicativo basado en decisiones, utilizando variables como altitud y manejo para anticipar costos y orientar la planeación productiva (von Braun & McDougall, 2023).

5. Conclusiones

La configuración del costo agrícola en pequeños productores no surge de una suma aislada de actividades, sino de la interacción entre el entorno biofísico y las decisiones de manejo condicionadas por las restricciones del territorio. La altitud ordena esta lógica: en zonas altas, la menor presión de plagas y la mayor estabilidad climática permiten una gestión planificada, de modo que los costos se concentran en la cosecha y la poscosecha.

En altitudes bajas, el cultivo enfrenta mayor inestabilidad ambiental, pérdida de nutrientes y aparición recurrente de patógenos, lo que obliga a intervenciones constantes, elevando el consumo de insumos y de mano de obra. Además, cada cultivo expresa una lógica propia de asignación de recursos: en café, los costos se concentran en cosecha y poscosecha; en naranja, en

el establecimiento y manejo de copa; y en plátano, en el manejo continuo y control sanitario, lo que confirma que no existe un esquema universal de costeo, sino estructuras diferenciadas según la fisiología del cultivo y su relación con el ambiente.

La interpretación de los árboles de decisión permitió traducir estas dinámicas productivas en reglas contables explícitas para asignar el costo, mostrando que cada división del modelo representa una decisión operativa vinculada al consumo de recursos. Así, cuando la altitud reduce la necesidad de controles sanitarios, los costos se orientan a procesos finales; pero cuando el entorno es más adverso, la contabilidad debe reconocer como centros de costo la fertilización, el manejo y el control de enfermedades.

Esto demuestra que el costo no es un registro financiero aislado, sino la expresión de cómo el productor gestiona la incertidumbre ecológica mediante decisiones técnicas y de asignación de recursos. No obstante, persisten vacíos para futuras investigaciones, especialmente en la integración de datos climáticos, sensores remotos y sistemas digitales de registro que permitan capturar y modelar el costo en tiempo real, avanzando hacia una contabilidad rural más sensible al contexto y a la diversidad productiva.

Referencias

- Adelesi, O. O., Kim, Y.-U., Webber, H., Zander, P., Schuler, J., Hosseini-Yekani, S.-A., MacCarthy, D. S., Abdulai, A. L., van der Wiel, K., Traore, P. C. S., & Adiku, S. G. K. (2023). Accounting for weather variability in farm management resource allocation in northern Ghana: An integrated modeling approach. *Sustainability*, 15(9), 7386. <https://doi.org/10.3390/su15097386>
- Adnan, N., & Akber, N. S. (2026). Sustainability strategies and capital costs: A study of non-financial disclosure in the GCC agri-food industry. *Sustainable Futures*, 11, 101590. <https://doi.org/10.1016/j.sufr.2025.101590>
- Amankwah, A., Ambel, A., Gourlay, S., Kilic, T., Markhof, Y., & Wollburg, P. (2024). *Fertilizer price shocks in smallholder agriculture*. World Bank.
- Atapattu, A. J., Perera, L. K., Nuwarapaksha, T. D., Udumanni, S. S., & Dissanayaka, N. S. (2024). Challenges in achieving Artificial Intelligence in agriculture. En S. S. Chouhan, A. Saxena, U. P. Singh & S. Jain (Eds.), *Artificial Intelligence Techniques in Smart Agriculture* (pp. 15-38). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5878-4_2
- Awiti, H. A., et al. (2022). Smallholder farmers climate-smart crop diversification and variable cost structure in western Kenya. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 842987. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.842987>
- Barakat, S., Elkhouly, H. I., Sofey, A., & Harraz, N. (2025). A hybrid machine learning model for predicting agricultural production costs: Integrating economic sensitivity analysis and environmental factors in Egypt. *Journal of Environmental Management*, 390, 126371. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126371>
- Bellon, M. R., Benard, N., Vizcaino, M., Merrigan, K., & Wharton, C. (2024). True cost accounting using life cycle assessment methods and data: A case study comparing palm, rapeseed, and coconut oils

- for sustainability and nutrition. *Sustainability*, 16(23), 10366. <https://doi.org/10.3390/su162310366>
- Benos, L., Tagarakis, A. C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D., & Bochtis, D. (2021). Machine learning in agriculture: A comprehensive updated review. *Sensors*, 21(11), 3758. <https://doi.org/10.3390/s21113758>
- Bernal, C. S. R., & Álvarez, J. F. (2021). El impacto de los ingresos generados por la agricultura familiar en la superación de la pobreza de los campesinos colombianos. *Papel Político*, 26, 1-23. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.papo26.iiga>
- Bhatia, M. S., Chaudhuri, A., Kayikci, Y., & Treiblmaier, H. (2024). Implementation of blockchain-enabled supply chain finance solutions in the agricultural commodity supply chain: A transaction cost economics perspective. *Production Planning & Control*, 35(12), 1353-1367. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2180685>
- Carrero, A. C., Roque, D. I., & Cortés Cortés, J. A. (2025). Impacto del impuesto de renta en el costo promedio ponderado del capital en el sector agropecuario colombiano: 2018-2022. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 40. <https://doi.org/10.46661/rev.metodoscuant.econ.empresa.10916>
- Casilimas, L., Corrales, D. C., Solarte Montoya, M., Rahn, E., Robin, M. H., Aubertot, J. N., & Corrales, J. C. (2021). HMP-Coffee: A hierarchical multicriteria model to estimate the profitability for small coffee farming in Colombia. *Applied Sciences*, 11(15), 6880. <https://doi.org/10.3390/app11156880>
- Caulfield, M. E., Graham, M., Gibbons, J., McNicol, L., Williams, P., Chadwick, D., ... & Arndt, C. (2025). Marginal abatement cost curves of climate-smart agricultural practices to mitigate greenhouse gas emissions from smallholder dairy farms in Kenya. *Journal of Cleaner Production*, 501, 145281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145281>
- Chu, L. K. (2021). Financial access of Latin America and Caribbean firms: What are the roles of institutional, financial, and economic development? *Journal of Emerging Market Finance*, 20(3), 227-263. <https://doi.org/10.1177/09726527211015317>
- Diaz, R. T., Osorio, D. P., Hernández, E. M., Pallares, M. M., Canales, F. A., Paternina, A. C., & Echeverría-González, A. (2022). Socioeconomic determinants that influence the agricultural practices of small farm families in northern Colombia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(7), 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.12.001>
- Drogo, F., Ignaciuk, A., Neves, B., & Ilicic, J. (2025). *True cost accounting for cocoa, coffee, maize, livestock, palm oil, rice, soybeans and wheat*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd6549en>
- Fleming, A., Ogilvy, S., O'Grady, A. P., Green, I., Stitzlein, C., & Horner, C. (2024). Designing natural capital accounting for agriculture: Perceptions of farm accountants. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 15(7), 85-105. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-04-2024-0356>
- Gao, J., Tang, X., Lin, S., & Bian, H. (2021). The influence of land use change on key ecosystem services and their relationships in a mountain region from past to future (1995-2050). *Forests*, 12(5), 616. <https://doi.org/10.3390/f12050616>
- Gemmill-Herren, B., Baker, L. E., &

- Daniels, P. A. (2021). *True cost accounting for food: Balancing the scale*. Taylor & Francis.
- Gómez, D., & Pérez, E. M. B. (2024). Sostenibilidad ambiental: Diálogos entre la economía ecológica, el territorio y la territorialidad en el desarrollo resiliente. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 19(1), 6. <https://doi.org/10.21676/23897864.5615>
- Gupta, G., & Kumar Pal, S. (2025). Applications of AI in precision agriculture. *Discovery Agriculture*, 3, 61. <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00220-9>
- Hernández-Ochoa, I. M., et al. (2022). Model-based design of crop diversification through new arrangements of crops to increase resource use efficiency. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 71. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00805-4>
- Hilber, I., Bahena-Juárez, F., Chiaia-Hernández, A. C., et al. (2024). Pesticides in soil, groundwater and food in Latin America as part of one health. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 14333–14345. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32036-3>
- Ilyas, Q. M., Ahmad, M., & Mehmood, A. (2023). Automated estimation of crop yield using artificial intelligence and remote sensing technologies. *Bioengineering*, 10(2), 125. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020125>
- Kryszak, Ł., Świerczyńska, K., & Staniszewski, J. (2023). Measuring total factor productivity in agriculture: A bibliometric review. *International Journal of Emerging Markets*, 18(1), 148-172. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-04-2020-0428>
- Mellaku, M. T., & Sebsibe, A. S. (2022). Potential of mathematical model-based decision making to promote sustainable performance of agriculture in developing countries: A review article. *Heliyon*, 8(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08968>
- OECD. (2022). *Insights into the measurement of agricultural total factor productivity and the environment*. OECD Publishing.
- Penagos, Á. J. T., Osorio, J. C., & Vidal-Holguín, C. J. (2021). Sustainability improvement of coffee farms in Valle del Cauca (Colombia) through system dynamics. En *Advances in Production Management Systems* (pp. 607-617). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85914-5_64
- Polwaththa, K. P. G. D. M., Amarasinghe, S. T. C., & Amarasinghe, A. A. Y. D. (2024). Exploring artificial intelligence and machine learning in precision agriculture: A pathway to improved efficiency and economic outcomes in crop production. *American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology*, 8(1), 33–47. <https://journals.e-palli.com/home/index.php/ajaset/article/view/3843>
- Potryvaieva, N., & Levchenko, L. (2025). Innovative approaches to cost accounting in agriculture taking into account the principles of the circular economy. *Journal of Agricultural Economics and Accounting*, 12(1), 18–29. <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-94>
- Rincón-Zapata, C., Restrepo-Ruiz, A. L., Alzate-Cárdenas, M. D. S., Zabala-Salazar, H. E., & Arboleda-Álvarez, O. L. (2021). Desigualdades rurales en Colombia: Aportaciones para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible. *Revista Lasallista de Investigación*, 18(2), 178-200. <https://>

doi.org/10.22507/rli.v18n2a13

- Roque, A. F. (2025). From financial neutrality to ecological responsibility: Reformulating agricultural accounting in the era of sustainability and Agriculture 5.0. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 15(2), 70–88. <https://doi.org/10.20944/preprints202507.1920.v1>
- Shen, J. Q., Zhang, Z. Y., & Li, H. B. (2025). Cost-benefit analysis of remanufacturing of used agricultural machinery parts in China. *Journal of Cleaner Production*, 533, 146944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146944>
- Touch, V., Tan, D. K., Cook, B. R., Li Liu, D., Cross, R., Tran, T. A., ... & Cowie, A. (2024). Smallholder farmers' challenges and opportunities: Implications for agricultural production, environment and food security. *Journal of Environmental Management*, 370, 122536. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122536>
- Trentin, C., Ampatzidis, Y., Lacerda, C., & Shiratsuchi, L. (2024). Tree crop yield estimation and prediction using remote sensing and machine learning: A systematic review. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100556. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100556>
- Vittis, Y., Folberth, C., Bundle, S. C., & Obersteiner, M. (2021). Restoring nature at lower food production costs. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 672663. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.672663>
- von Braun, J., & McDougall, P. (2023). Full-cost accounting and redefining the cost of food. *Agricultural Economics*, 54(4), 387–401. <https://doi.org/10.1111/agec.12774>
- Yogeshwaran, R. (2022). Agricultural product price and crop cultivation prediction based on data science technique. *Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management*, 1(2), 45–58. <https://doi.org/10.55041/IJSREM12586>