# Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial:

## fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad en Colombia




Hugo Fernando Castro Silva
Eyder James Ramírez Zuñiga



INVESTIGACIÓN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



### Eyder James Ramírez Zuñiga

Investigador en la Universidad EAN en Bogotá, Colombia. Con líneas de investigación centradas en innovación agrícola, desarrollo de modelos para la producción de café especial sostenible y tecnologías aplicadas al sector cafetero. Enfocado en la identificación de factores críticos de innovación que permitan a los caficultores colombianos mejorar la calidad y sostenibilidad de sus procesos de producción. Mis publicaciones están relacionadas con "Modelo de innovación para fincas productoras de café especial en Colombia" (2024) en la Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada y "Unveiling Critical Innovation Factors in Sustainable Coffee Production: A Colombian Perspective" (2024) en la Revista PEA "Production Enginerring Archives". Investigaciones que contribuyen al fortalecimiento de la competitividad del sector cafetero colombiano mediante la aplicación de metodologías innovadoras y sostenibles"

eramire17896@universidadean.edu.co

https://orcid.org/0009-0003-8371-0090

### Hugo Fernando Castro Silva

Hugo Fernando Castro Silva es Investigador senior reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología en Innovación de Colombia, adscrito a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), sede Sogamoso. Es ingeniero industrial, con maestría en Ingeniería Industrial maestría en Administración de Proyectos y doctorado en Gerencia de Proyectos. Su trayectoria académica e investigativa se enfoca en gerencia y sostenibilidad de proyectos, gobierno y gestión de TI, innovación y co-creación, gestión organizacional y de cadenas de valor, articulando la investigación aplicada la con producción científica en libros, capítulos de libro y artículos; además de contribuciones en los campos de la gestión de proyectos y la innovación en escenarios públicos y organizacionales.

hugofernando.castro@uptc.edu.co

https://orcid.org/0000-0001-6020-402X






# Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial:

## fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad en Colombia

Hugo Fernando Castro Silva
Eyder James Ramírez Zuñiga




Uptc
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
VIGILADA MINEDUCACIÓN

EDITORIAL UPTC

# Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial:

## fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad en Colombia

Hugo Fernando Castro Silva
Eyder James Ramírez Zuñiga

Uptc Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Facultad Seccional Sogamoso
IFAS
Grupo de Investigación GITYD

**Enfoque:** Investigación
**Área OCDE:** Ingeniería y Tecnología
**Subárea:** Ingeniería de producción
**Colección N°.** 01

Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial: fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad en Colombia
Innovation model for specialty coffee production processes: strengthening sustainability and quality in Colombia

Primera Edición, 2026
Versión digital (ePub)

© Hugo Fernando, Castro Silva, 2026
© Eyder James, Ramírez Zuñiga, 2026
© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2026

ISBN (ePub) 978-628-7863-48-4

Proceso de arbitraje doble ciego
Recepción: agosto de 2025
Aprobación: diciembre de 2025

Hecho en Colombia - Made in Colombia

CC BY NC ND

Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial: fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad en Colombia / Innovation model for specialty coffee production processes: strengthening sustainability and quality in Colombia / Castro Silva, Hugo Fernando; Ramírez Zuñiga, Eyder James. Tunja: Editorial UPTC, 2026. 214 p.

ISBN (ePub) 978-628-7863-48-4

Incluye referencias bibliográficas

1. Agricultura. 2. Café. 3. Desarrollo rural. 4. Desarrollo sostenible. 5. Gestión. 6. Innovación. 7. Investigación. 8. Medio ambiente. 9. Producción. 10. Tecnología. 11. Colombia.

(Dewey 338.1) (THEMA KNAC Agricultura, agroindustria e industrias de producción de alimentos)

**Rector UPTC**

Enrique Vera López

**Comité Editorial**

Carlos Mauricio Moreno Téllez
**Vicerrector de Investigación y Extensión**

Yolanda Torres Pérez
**Directora de Investigaciones**

Óscar Pulido Cortés
**Delegado Vicerrectoría Académica**

Martín Orlando Pulido Medellín
**Representante Área Ciencias Agrícolas**

Yolima Bolívar Suárez
**Representante Área Ciencias Médicas y de la Salud**

Nelsy Rocío González Gutiérrez
**Representante Área Ciencias Naturales**

Olga Yanet Acuña Rodríguez
**Representante Área Ciencias Sociales**

Juan Guillermo Díaz Bernal
**Representante Área Humanidades**

Pilar Jovanna Holguín Tovar
**Representante Área Artes**

Edgar Nelson López López
**Representante Área Ingeniería y Tecnología**

Juan Sebastián González Sanabria
**Representante Grupos de Investigación**

**Editora**
Bertha Ramos Holguín

**Corrección de Estilo**
Alexandra Díaz Soto

**Asesor de arte e imagen**
Pedro Alexander Sosa Gutierrez

**Diseño y Diagramación**
Aura Patricia Sarmiento Hernández

**Imágen de Carátula**
Eyder James Ramírez Zuñiga

**Subcomité Especializado de Evaluación de Obras de la Facultad Seccional Sogamoso**

Héctor Antonio Fonseca Peralta
**Decano Facultad Seccional Sogamoso**

Óscar Oswaldo Rodríguez
**Editor**

Liliana Fernández Samacá
**Delegada Decanatura**

Jorge Julián Moreno
**Representante de los Editores**

Mauricio Alberto Bermúdez Sella
**Representante Grupos de Investigación**

Libro de investigación

Citar este libro / Cite this book
Castro Silva, H., Ramírez Zuñiga, E. (2026). *Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial: fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad en Colombia*. Editorial UPTC.
doi.org/10.19053/uptc.9786287863484

Libro financiado por el Centro de Gestión de Investigación y Extensión CIFAS de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000

**Editorial UPTC**
La Colina, Bloque 7, Casa 5
Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá
comite.editorial@uptc.edu.co
https://editorial.uptc.edu.co

# Resumen

Este libro presenta un modelo integral de innovación para la producción de café especial sostenible en Colombia, basado en una investigación empírica que identifica y valida las variables críticas que determinan la capacidad innovadora de las fincas cafeteras.

La obra se estructura en nueve capítulos que abordan desde los fundamentos conceptuales hasta las aplicaciones prácticas. Los capítulos 1-2 establecen el contexto del café especial colombiano y el marco teórico de innovación, integrando el Manual de Oslo con certificaciones sostenibles. El capítulo 3 detalla la metodología cuantitativa desarrollada en el estudio de 66 fincas cafeteras en Pitalito (Huila). El capítulo 4 identifica siete factores de innovación agrupando 54 variables relacionadas con aspectos económicos, sociales, ambientales, productivos, de conocimiento, tecnológicos y de gestión del cambio. El capítulo 5 caracteriza las fincas innovadoras frente a las tradicionales. El capítulo 6 desarrolla y valida un modelo de regresión logística que predice la probabilidad de innovación con un 97 % de precisión. El capítulo 7 presenta casos de aplicación práctica del modelo en diferentes contextos productivos. Los capítulos 8-9 analizan los aportes al conocimiento y las perspectivas futuras del sector.

La investigación identifica tres variables críticas para la innovación: gestión integral de residuos (coeficiente 4.861), adopción de tecnología digital (2.1631) y flexibilidad ante el cambio (2.0838). El modelo desarrollado permite evaluar y predecir la capacidad innovadora de fincas cafeteras, proporcionando una herramienta práctica para caficultores, técnicos y formuladores de políticas. Los resultados demuestran que las fincas que implementan el modelo completo logran incrementos en precios de venta y mejoras significativas en calidad. La

obra contribuye teóricamente al integrar marcos de innovación con prácticas de sostenibilidad, al ofrecer directrices específicas para la transformación hacia café especial sostenible y posiciona a Colombia como referente en innovación cafetera.

**Palabras clave:** agricultura, café, desarrollo rural; desarrollo sostenible, gestión, innovación, investigación, medio ambiente, producción, tecnología, Colombia.

# Abstract

This book presents a comprehensive innovation model for sustainable specialty coffee production in Colombia, based on empirical research that identifies and validates the critical variables determining the innovative capacity of coffee farms.

The work is structured into nine chapters, ranging from conceptual foundations to practical applications. Chapters 1–2 establish the context of Colombian specialty coffee and the theoretical framework for innovation, integrating the Oslo Manual with sustainability certifications. Chapter 3 details the quantitative methodology developed in a study of 66 coffee farms in Pitalito, Huila. Chapter 4 identifies seven innovation factors, grouping 54 variables related to economic, social, environmental, productive, knowledge, technological, and change management aspects. Chapter 5 characterizes innovative farms in comparison with traditional ones. Chapter 6 develops and validates a logistic regression model that predicts the probability of innovation with 97% accuracy. Chapter 7 presents cases of practical application of the model in different production contexts, while Chapters 8–9 analyze contributions to knowledge and future prospects for the sector.

The research identifies three critical variables for innovation: integrated waste management (coefficient 4.861), adoption of digital technology (2.1631), and flexibility in the face of change (2.0838). The developed model allows for the evaluation and prediction of the innovative capacity of coffee farms, providing a practical tool for coffee growers, technicians, and policymakers. Results show that farms implementing the complete model achieve increases in sales prices and significant improvements in quality. This work contributes theoretically by integrating innovation frameworks with sustainability practices, offering

specific guidelines for the transformation toward sustainable specialty coffee, and positioning Colombia as a benchmark in coffee innovation.

**Keywords**: agriculture, coffee, rural development, sustainable development, management, innovation, research, environment, production, technology, Colombia.

# Contenido

**Capítulo 1.**
El café especial en Colombia: panorama actual y desafíos .....21

1.1 Introducción al mundo del café colombiano .....21
1.2 La cadena de valor del café colombiano .....22
1.3 El café especial: un producto diferenciado con alto valor agregado
¿Qué es el café especial? .....22
1.4 Las certificaciones de café sostenible .....23
1.5 El panorama actual del café especial en Colombia .....24
1.5.1 Variedades y regiones productoras .....24
1.5.2 Estructura productiva y características socioeconómicas .....25
1.6 Café especial y construcción de paz territorial .....26
1.7 Desafíos actuales en la producción de café especial .....26
1.7.1 Desafíos en los procesos de producción .....26
1.7.2 Desafíos ambientales y de calidad .....27
1.7.3 Desafíos económicos y de mercado .....28
1.7.4 La innovación como respuesta a los desafíos .....29

**Capítulo 2.**
Innovación en la industria cafetera: Marco conceptual y teórico .....31

2.1 Fundamentos conceptuales de la innovación .....31
2.1.1 Evolución del concepto de innovación .....31
2.1.2 La innovación en contextos agrícolas y rurales .....32
2.1.3 Teorías contemporáneas de innovación aplicadas al café .....33
2.1.4 Innovación y sostenibilidad en la cadena de valor del café .....36
2.2 Tipos de innovación aplicables al sector cafetero .....37
2.2.1 Innovación de producto en el contexto cafetero .....37
2.2.2 Innovación en procesos de negocio para el sector cafetero .....37
2.2.3 Innovación tecnológica versus no tecnológica .....38
2.2.4 El enfoque de la innovación sostenible para el café especial .....39
2.3 Modelos de innovación relevantes para el sector cafetero .....40
2.3.1 Evolución de los modelos de innovación .....40
2.3.2 Modelos de innovación agrícola aplicables al café .....41
2.3.3 Modelos específicos para la innovación en café especial sostenible .....42

2.4 Factores determinantes de la innovación en fincas cafeteras....43
2.4.1 Factores económicos....43
2.4.2 Factores sociales y organizacionales....44
2.4.3 Factores ambientales y agroecológicos....45
2.4.4 Factores tecnológicos y de conocimiento....45
2.4.5 Factores de gobernanza y políticas públicas....46
2.5 Hacia un modelo integrado de innovación para el café especial....47
2.5.1 Principios fundamentales....47
2.5.2 Categorías analíticas propuestas....48
2.5.3 La innovación como proceso dinámico....48
2.5.4 Interacción entre múltiples escalas....49
2.6 Manual de Oslo y certificaciones de café sostenible....50
2.6.1 El Manual de Oslo como marco de referencia....50
2.6.2 Certificaciones de café sostenible como estándares de innovación....51
2.6.3 Convergencia entre el Manual de Oslo y las certificaciones de café....52
2.6.4 Esquema integrado para el análisis de la innovación en café especial....53

**Capítulo 3.**
Diseño metodológico para el estudio de la innovación cafetera....57

3.1 Fundamentos del enfoque metodológico....58
3.1.1 Bases epistemológicas y paradigmas de investigación....58
3.1.2 Justificación del enfoque cuantitativo....59
3.1.3 Alcance correlacional con diseño experimental....60
3.2 Proceso de definición del problema....61
3.2.1 Planteamiento del problema de investigación....61
3.2.2 Formulación de preguntas e hipótesis....62
3.3 Selección del área de estudio y diseño muestral....63
3.3.1 Caracterización del área de estudio....63
3.3.2 Diseño y justificación de la muestra....65
3.3.3 Diseño del instrumento de recolección de datos....66
3.3.4 Validación del instrumento....68
3.3.5 Estrategia para la recolección y procesamiento de datos....70
3.4 Análisis estadístico y desarrollo del modelo....72
3.5 Aspectos éticos de la investigación....73
3.5.1 Principios éticos fundamentales....73
3.5.2 Implementación de salvaguardas éticas....73
3.6 Limitaciones metodológicas....75
3.6.1 Limitaciones inherentes al diseño....75
3.7 Validación del modelo mediante investigación-acción....75

**Capítulo 4**

Factores de diferenciación en el café especial sostenible .....79

4.1 Factores de innovación en el café especial sostenible .....80
4.1.1 Factor económico (F1) .....80
4.1.2 Factor social (F2) .....80
4.1.3 Factor ambiental (F3) .....81
4.1.4 Factor de producción (F4) .....82
4.1.5 Factor de conocimiento (F5) .....82
4.1.6 Factor tecnológico (F6) .....83
4.1.7 Factor de gestión del cambio (F7) .....84
4.2 Interrelación entre factores y variables de innovación .....84
4.3 Integración con certificaciones sostenibles .....86
4.4 Análisis estadístico de variables de innovación .....88
4.4.1 Análisis de varianza (ANOVA) .....88
4.4.2 Análisis de correlación .....88
4.4.3 Análisis multivariado .....89

**Capítulo 5**

Caracterización de fincas cafeteras innovadoras .....91
5.1 Marco contextual de las fincas estudiadas .....91
5.1.1 Ubicación geográfica y relevancia .....91
5.1.2 Características agroecológicas .....92
5.2 Perfil de las variedades de las fincas estudiadas .....92
5.2.1 Distribución de variedades de café .....92
5.2.2 Relación entre variedades e innovación .....93
5.3 Características estructurales de las fincas cafeteras .....94
5.3.1 Distribución por tamaño .....94
5.3.2 Infraestructura y equipamiento .....96
5.4 Perfil socioeconómico de los caficultores .....96
5.4.1 Distribución etaria y su relación con la innovación .....96
5.4.2 Nivel educativo y su impacto en la innovación .....98
5.4.3 Experiencia y tradición cafetera .....99
5.5 Certificaciones sostenibles como marco de innovación .....100
5.5.1 Distribución de certificaciones .....100
5.5.2 Certificaciones y su relación con prácticas innovadoras .....101
5.6 Análisis económico comparativo .....101
5.6.1 Costos y beneficios de la producción de café especial .....101
5.6.2 Canales de comercialización .....102
5.6.3 Retorno sobre la inversión en innovación .....103

5.7 Tipología de fincas según nivel de innovación ..... 103
5.7.1 Clasificación jerárquica ..... 103
5.7.2 Comparativa de factores de innovación ..... 104
5.7.3 Variables clave ..... 106
5.8 Limitantes para la innovación en fincas cafeteras ..... 106
5.8.1 Barreras económicas ..... 106
5.8.2 Limitantes socioculturales ..... 107
5.8.3 Limitantes estructurales y logísticas ..... 107
5.9 Implicaciones teóricas y prácticas ..... 108
5.9.1 Implicaciones teóricas ..... 108
5.9.2 Implicaciones prácticas ..... 108

**Capítulo 6**
Construcción y validación del modelo de innovación ..... 111

6.1 Fundamentos metodológicos del modelo ..... 111
6.1.1 Enfoque conceptual ..... 111
6.1.2 Diseño metodológico ..... 112
6.2 Análisis de agrupamiento e identificación de patrones ..... 113
6.2.1 Técnicas de clustering aplicadas ..... 113
6.2.2 Diferenciación de perfiles entre grupos ..... 114
6.3 Análisis correlacional de variables de innovación ..... 117
6.3.1 Métodos de correlación aplicados ..... 117
6.3.2 Resultados del análisis correlacional ..... 120
6.4 Selección del método estadístico para el modelo ..... 123
6.4.1 Evaluación de alternativas ..... 123
6.4.2 Fundamentos de la regresión logística ..... 124
6.5 Desarrollo del modelo de regresión logística ..... 124
6.5.1 Análisis de variables mediante ANOVA ..... 124
6.5.2 Construcción del modelo ..... 127
6.5.3 Interpretación de los coeficientes ..... 129
6.6 Descripción detallada de las variables clave ..... 130
6.6.1 Gestión integral de residuos (X18) ..... 130
6.6.2 Adopción de tecnología digital (X47) ..... 130
6.6.3 Flexibilidad ante el cambio (X51) ..... 131
6.7 Validación del modelo ..... 132
6.7.1 Verificación de supuestos estadísticos ..... 132
6.7.2 Evaluación de la capacidad predictiva ..... 133
6.7.3 Análisis de sensibilidad ..... 134
6.8 Aplicaciones prácticas del modelo ..... 135

6.8.1 Herramienta diagnóstica ..... 135
6.8.2 Guía para la intervención ..... 136
6.8.3 Instrumento de monitoreo ..... 137
6.9. Limitaciones del modelo ..... 137
6.9.1 Alcance geográfico y contextual ..... 137
6.9.2 Limitaciones metodológicas ..... 138
6.9.3 Consideraciones para aplicación práctica ..... 138

**Capítulo 7**
Aplicación práctica del modelo en fincas cafeteras ..... 141

7.1 Preparación para la implementación del modelo ..... 141
7.1.1 Diagnóstico inicial de las fincas ..... 142
7.1.2 Identificación de oportunidades de innovación ..... 142
7.1.3 Planificación participativa ..... 143
7.2 Implementación de componentes del modelo ..... 144
7.2.1 Gestión integral de residuos (Variable X18) ..... 144
7.2.2 Adopción tecnológica digital (Variable X47) ..... 145
7.2.3 Flexibilidad ante el cambio (Variable X51) ..... 147
7.3 Integración de componentes y sinergia en el modelo ..... 148
7.3.1 Relaciones entre gestión de residuos y adopción tecnológica ..... 148
7.3.2 Conexiones entre adopción tecnológica y flexibilidad al cambio ..... 149
7.3.3 Vínculos entre flexibilidad al cambio y gestión de residuos ..... 149
7.4 Guía de aplicación práctica del modelo ..... 150
7.4.1 Ruta de implementación ..... 150
7.4.2 Herramientas para la implementación ..... 151
7.4.3 Indicadores de seguimiento ..... 152
7.5 Casos de estudios documentados ..... 153
7.5.1 Caso 1: Pequeño productor en zona de alta montaña ..... 153
7.5.2 Caso 2: Productor mediano con enfoque empresarial ..... 155
7.5.3 Caso 3: Implementación asociativa en pequeñas fincas ..... 157
7.6 Resultados y aprendizajes de la implementación ..... 158
7.6.1 Resultados en la calidad del café ..... 158
7.6.2 Impactos económicos ..... 159
7.6.3 Aprendizajes clave ..... 159
7.7 Análisis de factores críticos de éxito ..... 161
7.7.1 Factores facilitadores ..... 161
7.7.2 Factores limitantes ..... 161
7.7.3 Estrategias de mitigación ..... 162
7.8 Medición de impactos ..... 162

7.8.1 Indicadores cuantitativos ..... 162
7.8.2 Indicadores cualitativos ..... 163
7.8.3 Sostenibilidad de los cambios ..... 164
7.9 Escalamiento del modelo ..... 164
7.9.1 Estrategias de difusión ..... 164
7.9.2 Adaptaciones regionales ..... 165
7.9.3 Medición de escalamiento ..... 165
7.10 Lecciones para la investigación aplicada ..... 166
7.10.1 Importancia de la co-creación ..... 166
7.10.2 Valor de la evidencia empírica ..... 166
7.10.3 Necesidad de enfoques sistémicos ..... 166

**Capítulo 8**
Aportes al conocimiento y la práctica cafetera ..... 169

8.1 Contribuciones teóricas al conocimiento ..... 169
8.1.1 Integración del Manual de Oslo con certificaciones de café sostenible ..... 170
8.1.2 Identificación de variables críticas de innovación ..... 170
8.1.3 Desarrollo de un modelo cuantitativo de innovación ..... 171
8.2 Aportes prácticos para caficultores y organizaciones ..... 172
8.2.1 Herramienta para diagnóstico y mejora de procesos productivos ..... 172
8.2.2 Optimización de recursos para la producción de café especial ..... 172
8.2.3 Ampliación de oportunidades de comercialización ..... 173
8.2.4 Directrices para implementación práctica ..... 173
8.3 Implicaciones para políticas públicas ..... 174
8.3.1 Fomento de la gestión integral de residuos ..... 174
8.3.2 Adopción tecnológica digital ..... 175
8.3.3 Desarrollo de capacidades para la gestión del cambio ..... 175
8.3.4 Alineación con programas gubernamentales existentes ..... 176
8.4 Consideraciones para la implementación del modelo ..... 176
8.4.1 Factores socioeconómicos ..... 176
8.4.2 Variabilidad geográfica y climática ..... 177

**Capítulo 9**
Futuro de la innovación en el café especial colombiano ..... 179

9.1 Tendencias emergentes en la producción de café especial ..... 179
9.1.1 Agricultura de precisión y digitalización ..... 180
9.1.2 Biotecnología y mejoramiento genético ..... 180
9.1.3 Economía circular y bioeconomía ..... 181

9.1.4 Transformación de la cadena de valor ..... 182
9.2 Evolución del modelo de innovación propuesto ..... 182
9.2.1 Integración de nuevas variables tecnológicas ..... 183
9.2.2 Adaptación a nuevos esquemas de certificación ..... 183
9.2.3 Ampliación a escala territorial ..... 183
9.2.4 Incorporación de perspectiva generacional ..... 184
9.3 Desafíos futuros y estrategias de mitigación ..... 184
9.3.1 Cambio climático e intensificación de eventos extremos ..... 184
9.3.2 Brecha digital y acceso a tecnologías ..... 185
9.3.4 Volatilidad de mercados y competencia internacional ..... 186
9.3.5 Resistencia al cambio y barreras culturales ..... 186
9.4 Líneas futuras de investigación ..... 187
9.4.1 Estudios longitudinales sobre adopción e impacto ..... 187
9.4.2 Profundización en variables específicas ..... 187
9.4.3 Innovación en modelos de negocio y comercialización ..... 187
9.4.4 Innovación para la resiliencia climática ..... 188
9.5 Visión prospectiva: El café especial colombiano en 2035 ..... 188
9.5.1 Transformación productiva ..... 188
9.5.2 Reconfiguraciones en la cadena de valor ..... 189
9.5.3 Nuevos perfiles de caficultores ..... 189
9.5.4 Colombia como hub de innovación cafetera ..... 190

**Conclusiones finales** ..... 193

**Referencias** ..... 195

Capítulo

1

# El café especial en Colombia: panorama actual y desafíos

## 1.1 Introducción al mundo del café colombiano

El sector cafetero es clave para la economía de Colombia, al ubicarse en el tercer lugar entre las exportaciones del país. Con una historia que se remonta a más de un siglo, el café colombiano ha ganado reconocimiento mundial por su calidad excepcional, convirtiéndose en un símbolo de identidad nacional y un motor de desarrollo económico para miles de familias campesinas. Según datos de Coffee Behind the Scenes (CBS, 2018) el sector cafetero representa aproximadamente el 22 % del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola del país y constituye la principal fuente de ingresos para más de 550.000 familias colombianas.

La Federación Nacional de Cafeteros (2019) destaca que el café es el pilar fundamental de la economía de departamentos como el Huila, al ser el sustento de 84.000 familias campesinas que cultivan 144.895 hectáreas y producen alrededor de 2,0 millones de sacos de 60 kg de café arábico anualmente. Estas cifras no solo reflejan la magnitud del sector, sino también su importancia como generador de empleo y desarrollo rural en diversas regiones del país.

El café ocupa el tercer lugar entre las exportaciones tradicionales en Colombia, solo superado por el petróleo y sus derivados, y el carbón, con ventas cercanas

a los USD 250 millones (Free on Board [FOB]) en el mes de febrero de 2023. Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2023).

A nivel internacional, Colombia ocupa una posición destacada en la producción de café, siendo el tercer productor mundial después de Brasil y Vietnam. En el año 2022/23, Colombia produjo aproximadamente 11.5 millones de sacos de 60 kg, lo que representa alrededor del 7 % de la producción mundial (Organización Internacional del Café [OIC], 2023). Lo que diferencia a Colombia en este mercado global es su especialización en café arábica suave lavado, una variedad particularmente apreciada por su calidad y sabor, lo que le ha permitido mantener una posición competitiva a pesar de tener volúmenes de producción menores que otros países productores.

### 1.2 La cadena de valor del café colombiano

El café colombiano presenta una cadena de valor que integra múltiples actores desde la producción hasta el consumo (García & Olaya, 2006). Los productores (pequeños caficultores en su mayoría) cultivan, recolectan y benefician el café. Las cooperativas y asociaciones agregan valor mediante servicios de acopio, procesamiento, certificación y acceso a mercados. Los intermediarios conectan productores con compradores, mientras que los exportadores gestionan la logística internacional.

En países consumidores, los importadores reciben el café verde y los tostadores lo transforman en producto final para distribuidores, minoristas y consumidores. La distribución del valor en esta cadena es desigual: los países productores retienen menos del 10 % del valor total, mientras que tostadores e importadores capturan más del 75 %. Para el café especial, esta cadena puede acortarse mediante relaciones comerciales directas entre productores y tostadores, permitiendo una distribución más equitativa del valor generado.

### 1.3 El café especial: un producto diferenciado con alto valor agregado

#### ¿Qué es el café especial?

El café especial se distingue del café convencional por sus características particulares que son valoradas de manera diferencial por los consumidores. Según la definición de la Federación Nacional de Cafeteros (2019), los cafés

especiales colombianos se caracterizan por atributos consistentes, verificables y sostenibles por los cuales los consumidores están dispuestos a pagar precios superiores, que redunden en un mayor bienestar de los productores. Estas características están determinadas por:

**El origen del café (categoría origen)**: Cafés provenientes de regiones específicas con características de sabor únicas debido a las condiciones del suelo, la altitud y clima.

- **La producción en armonía con el medio ambiente (categoría sostenible)**: Cafés cultivados bajo prácticas que protegen y conservan los recursos naturales.
- **El compromiso con el desarrollo social de las comunidades (categoría social)**: Cafés producidos bajo condiciones que favorecen el bienestar de los trabajadores y las comunidades cafeteras.

Así mismo, la Asociación Americana de Café de Especial (AACE, 2016) establece parámetros técnicos, "el cual Clasifica como café especial, al producto que alcanza una calificación mínima de 80 en una escala de 100 puntos. Esta calificación se obtiene mediante una combinación de factores de cultivo, como la altitud, temporada de siembra, calidad del suelo y momento adecuado de recolección", elementos que contribuyen a crear un producto de características especiales.

### 1.4 Las certificaciones de café sostenible

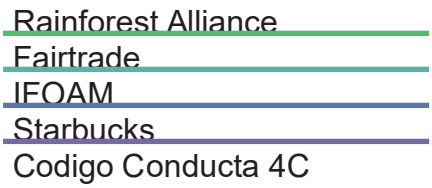
Las certificaciones de café especial sostenible son importantes en la producción y comercialización del café. Las certificaciones verifican y garantizan que el café se produce siguiendo estándares alineados con la sostenibilidad, el bienestar social y la viabilidad económica. Las certificaciones más importantes del mercado son las siguientes:

1. **Rainforest Alliance**: se enfoca en la biodiversidad y la mejora de la calidad de vida de los agricultores.
2. **Fairtrade (comercio justo)**: está centrada en garantizar precios justos y condiciones comerciales favorables para los pequeños productores.

3. **IFOAM (orgánico)**: certifica la producción sin el uso de agroquímicos sintéticos y promueve prácticas agrícolas que conservan el suelo y el agua.
4. **Código de Conducta 4C**: ayuda a establecer estándares básicos para la producción sostenible de café.
5. **Prácticas C.A.F.E. de Starbucks**: están enfocada en la calidad del producto, la responsabilidad económica, social y el liderazgo ambiental.

Las certificaciones proporcionan beneficios para los productores, tales como el acceso a mercados internacionales, precios superiores y capacitación técnica. Según Wahyudi et al., (2020), la certificación funciona como una herramienta para mejorar la competitividad frente a otros agentes en la industria, por su capacidad para incrementar el valor diferencial del producto y permitir el crecimiento de la demanda global hacia productos más saludables con impacto social y ambiental.

**Figura 1.** ***Principales certificaciones de café sostenible aplicadas en Colombia***




Nota. Elaboración propia.

## 1.5 El panorama actual del café especial en Colombia

### *1.5.1 Variedades y regiones productoras*

Colombia se caracteriza por cultivar principalmente café de tipo arábica, reconocido por su suavidad, delicadeza y baja acidez. Gracias al trabajo del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), se han implementado importantes avances en el mejoramiento genético del café colombiano, lo que ha llevado a la creación de variedades como Típica, Bourbon, Caturra, Colombia, Tabi y Castillo. Estas variedades presentan mayor resistencia a la

roya y a diversas enfermedades, mejor calidad y, algunas de ellas tienen un mayor porcentaje de granos grandes (Cortina, 2013).

Entre las principales variedades cultivadas en las fincas colombianas, destacan:

- **Castillo**: desarrollada por Cenicafé, presenta múltiples ventajas como mayor resistencia a la roya y a las enfermedades de las cerezas del café, una calidad de grano supremo superior al 10 %, tamaño medio y excelente calidad en taza (FNC, 2020).
- **Bourbon Rosado**: un café de alta calidad y rendimiento medio, apreciado por su distintivo sabor dulce (Perfect Daily Grind, 2020).
- **Caturra**: reconocida por su adaptabilidad, especialmente en terrenos de gran altitud, y su grano desprende un aroma intenso y definido. Su sabor, con sutiles notas a caramelo, la ha convertido en una opción preferida entre los consumidores (Asmar, 2020).

En cuanto a las regiones productoras, el departamento del Huila ostenta el título de ser el principal productor de café en Colombia, generando tanto café verde como café seco (Manchola, 2022). El municipio de Pitalito destaca particularmente, contribuyendo con el 3.2 % de la producción nacional y el 15.1 % del departamento del Huila (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2023). Este municipio se ha distinguido por la implementación de procesos innovadores en las cosechas y en el procesamiento del café (Agencia UNAL, 2022).

### *1.5.2 Estructura productiva y características socioeconómicas*

La producción de café especial en Colombia se caracteriza por una estructura predominantemente de pequeños caficultores. Con base en los datos recopilados en esta investigación, se observa que la mayoría de las fincas cafeteras tienen una extensión que oscila entre 2.5 y 6 hectáreas, con una media de 4 hectáreas. Esta escala de producción permite a los caficultores implementar prácticas de cultivo minuciosas y personalizadas, lo que contribuye a la calidad superior del café.

En cuanto al perfil de los caficultores, se identificó que el grupo de edad más

representativo se encuentra entre los 37 y 47 años. Los caficultores en edades comprendidas entre los 40 y 44 años, los que muestran un mayor interés en la producción de café especial. También se observó una correlación entre el nivel educativo y la producción de café especial, donde aquellos caficultores con niveles educativos más avanzados (tecnología, pregrado y posgrado) muestran una mayor tendencia a producir café diferenciado.

## 1.6 Café especial y construcción de paz territorial

El café especial en Colombia ha adquirido una dimensión social particular en el contexto del posconflicto. Tras la firma del Acuerdo de Paz en 2016, el café se ha convertido en una herramienta fundamental para la construcción de paz territorial, la reincorporación de excombatientes y la reparación de víctimas del conflicto armado (Acosta et al., 2015; Alarcón et al., 2018). Iniciativas como "Esperanza y Paz" en Tolima, "El Tercer Acuerdo" en Planadas, y "Costal Campesino" en el Valle del Cauca, muestran cómo un cultivo como el café facilita la reconciliación entre víctimas y excombatientes, creando espacios de trabajo conjunto que trascienden las divisiones históricas del conflicto. Esta dimensión social refuerza la importancia de desarrollar modelos de innovación que mejoren la calidad y sostenibilidad del café, y contribuyan con el tejido social en territorios rurales que han estado históricamente afectados por la violencia.

## 1.7 Desafíos actuales en la producción de café especial

A pesar del reconocimiento global que tiene el café colombiano, su potencial en productos diferenciados aún no ha sido completamente explotado. Los modelos agroindustriales actuales enfatizan la sostenibilidad y eficiencia en la agricultura, lo que resalta la necesidad urgente de innovar en los procesos de producción, comercialización y distribución del café. Esta necesidad se vuelve aún más crítica ante los diversos desafíos que enfrenta el sector.

### *1.7.1 Desafíos en los procesos de producción*

Según Ramírez y García (2020) se identificaron limitaciones específicas para cada tipo de productor en el proceso de producción del café. Los caficultores de café verde enfrentan tres obstáculos principales:

1. Carecen de la infraestructura necesaria
2. No están agremiados adecuadamente
3. Tienen acceso limitado a créditos

Estos factores impiden la optimización de su producción. Por otro lado, los productores de café seco se enfrentan a desafíos relacionados con el cumplimiento de estándares de calidad exigidos por tres actores clave: cooperativas comercializadoras, las certificadoras de comercio justo internacional y los clientes internacionales, lo que afecta su capacidad para optimizar sus productos y acceder a mercados más rentables.

### *1.7.2 Desafíos ambientales y de calidad*

El cambio climático representa una seria amenaza para la producción de café. Laranjeira (2019) destaca la relación entre este cultivo y la salud ambiental, advirtiendo que el cambio climático afecta la fertilidad del suelo y eleva el riesgo de plagas y enfermedades que pueden dañar las cosechas y retrasar la producción de café. De manera similar, Pham et al., (2019) señalan que los efectos del cambio climático reducen tanto la intención de cultivar café como las áreas recomendadas para su cultivo, mientras que Byrareddy et al., (2024) sostienen que el aumento de temperaturas afecta la floración de la cereza, disminuyendo su producción.

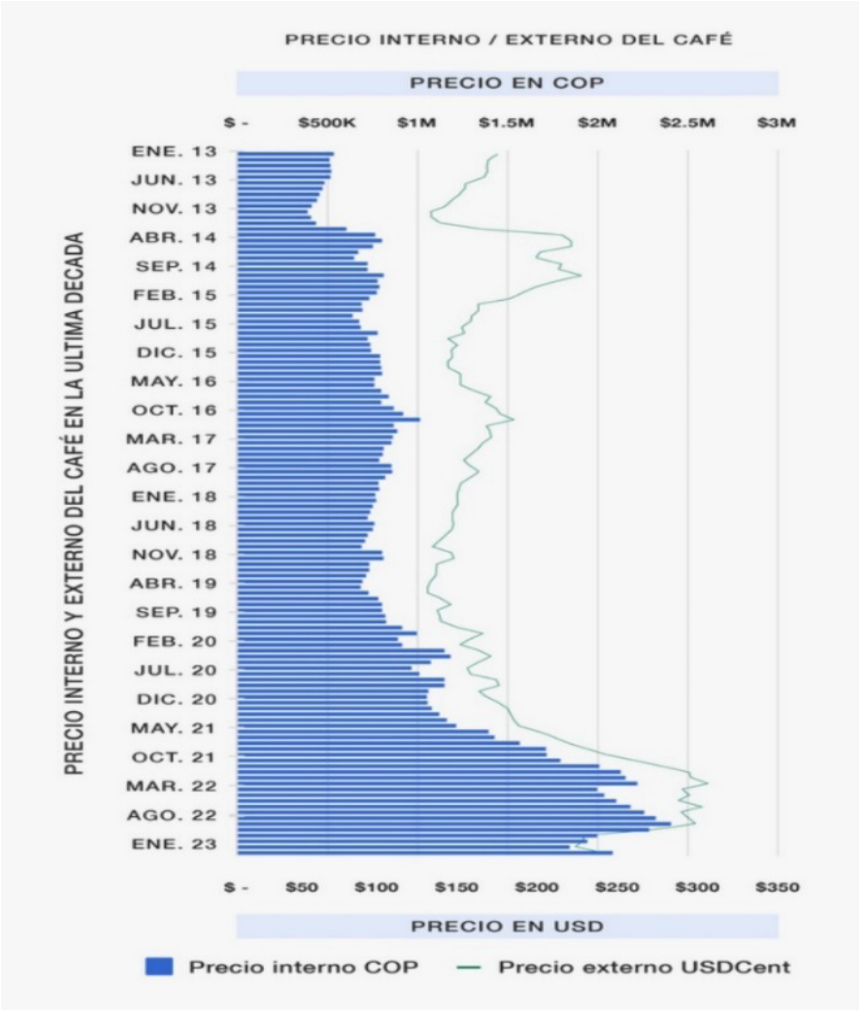
Perfect Daily Grind (2019) menciona que, cuando el proceso de cultivo del café no se gestiona adecuadamente, pueden generarse resultados desfavorables, como una producción de café de baja productividad y calidad. Este café, por lo general, se vende a precios muy bajos, lo que afecta negativamente a los productores y a la competitividad en el mercado (Tolessa et al., 2016).

Hameed et al., (2018) destacan que la calidad del café está influenciada por diversos factores físicos, químicos, sensoriales y ambientales que afectan el cultivo en la etapa de precosecha. También se ha comprobado que, en la postcosecha, aspectos como los métodos de tostado y trillado impactan en la calidad del producto. Según Puerta (2021) estos factores desempeñan un rol esencial en la eficiencia, calidad y reconocimiento comercial del café.

### *1.7.3 Desafíos económicos y de mercado*

Aunque en los últimos años se ha observado una mejora en los precios del café, como se muestra en la Figura 2, el sector sigue enfrentando desafíos económicos significativos, especialmente para los pequeños caficultores.

**Figura 2.** *Precio interno y externo del café en los últimos diez años*




**Nota.** Elaboración propia con base al archivo "precios, áreas y producción de café" (FNC, 2023).

Los caficultores que producen café de tipo convencional tienen limitadas alternativas de comercialización limitadas, principalmente a través de intermediarios o asociaciones. En contraste, aquellos que producen café especial tienen acceso a un espectro más amplio de mercados, incluyendo cooperativas e incluso la venta directa al cliente final, lo que les permite obtener mejores precios por su producto.

La transición hacia la producción de café especial requiere inversiones en infraestructura, capacitación y certificación, lo que puede ser un obstáculo para muchos pequeños productores con recursos limitados. Sin embargo, el análisis económico muestra que estas inversiones pueden generar retornos significativos, con un aumento del margen de ganancia del 25 % al 36 % al pasar de la producción de café normal a café especial certificado.

### *1.7.4 La innovación como respuesta a los desafíos*

La innovación ayuda a mejorar la calidad y los procesos de producción de los cafeteros en Colombia. Como afirman Rivera et al., (2020), la innovación mejora el proceso productivo, al hacerlo más atractivo y presentable, que proporcione cambio e introduzca novedades para lograr las metas planteadas. Por su parte, Isa et al., (2019) argumentan que la innovación en los procesos busca la reducción de los costos de producción, la generación de ganancias y el aumento de la competitividad del negocio.

Por lo tanto, la innovación en los procesos de producción agrícolas puede transformar la forma en que se cultiva y cosecha, buscando incrementar la productividad y la reducir de costos (AIA, 2020). Además, la innovación es necesaria para incrementar la productividad, reducir los costos y mejorar la eficiencia de los factores de producción, mediante el uso de ayudas químicas para mejorar la fertilidad del suelo, defender las plantas y proteger los animales de patógenos, así como para seleccionar las variedades más productivas (Sgroi, 2022).

De igual manera, Devaux et al., (2018) afirman que la innovación en procesos agrícolas, aplicada a la cadena de valor del café, es esencial para alcanzar altos niveles de calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad en el sector cafetero colombiano. Enfocarse en los procesos de innovación para el café permite abrir

nuevas oportunidades para el crecimiento y desarrollo del sector.

## Conclusiones

El café especial abre una gran oportunidad para Colombia, para agregar valor a un producto tradicional y acceder a mercados internacionales que ofrecen mejores precios de compra. Para aprovechar este potencial, es necesario enfrentar los desafíos actuales con soluciones innovadoras que integren factores como el económicos, sociales y ambientales.

La implementación de certificaciones de café sostenible generará beneficios sociales y económicos para los productores de café y sus comunidades. La innovación, la optimización de procesos y la implementación de prácticas más eficientes y sostenibles, permiten transformar los desafíos relacionados con la calidad, los procesos y el producto en oportunidades de desarrollo.

En los siguientes capítulos, se analizarán los conceptos de innovación aplicados al sector cafetero. También se analizarán las variables críticas que influyen en la producción de café especial sostenible y se desarrollará un modelo de innovación que pueda ser implementado por los caficultores para mejorar la calidad y sostenibilidad en sus procesos de producción.

Capítulo

# 2

# Innovación en la industria cafetera: Marco conceptual y teórico

La innovación en el sector cafetero necesita bases conceptuales sólidas para analizar la transformación hacia la sostenibilidad y la competitividad. Este capítulo presenta una base teórica, combinando conceptos de innovación del Manual de Oslo con los estándares para certificación de café sostenible. Se analiza la evolución de los modelos de innovación y se explica cómo se aplican al contexto agrícola y cafetero. Esta integración conceptual ofrece una base teórica sólida para aplicar la innovación en fincas cafeteras, para establecer las categorías que guiarán el desarrollo del modelo empírico. Este fundamento teórico es importante para entender cómo los factores económicos, sociales, ambientales, productivos, tecnológicos y de gestión del cambio se relacionan para definir la capacidad innovadora en la producción de café especial sostenible.

## 2.1 Fundamentos conceptuales de la innovación

La innovación es importante para el desarrollo y la competitividad en el sector económico. Para entender su aplicación se requiere de una base conceptual sólida para analizar su evolución.

### *2.1.1 Evolución del concepto de innovación*

El concepto de innovación ha evolucionado a lo largo del tiempo, pasando de interpretaciones tecnológicas a visiones más integrales. Por ello Schumpeter

(2008), uno de los pioneros en el estudio de la innovación, definió la innovación como la introducción de nuevas combinaciones de factores de producción, las cuales podrían considerarse como:

- Introducción de un nuevo producto
- Introducción de un nuevo método de producción
- Apertura de un nuevo mercado
- Conquista de una nueva fuente de suministro
- Implementación de una nueva forma de organización

Autores como Drucker (2012) ampliaron esta visión, definiendo la innovación como la herramienta de los emprendedores, el medio por el cual aprovechan el cambio como una oportunidad para ser aplicado en un negocio o servicio. Esta perspectiva comenzó a reconocer la innovación como un proceso sistemático más que como eventos aislados.

Posteriormente, autores como Aghion et al., (2013) explicaron la innovación como un proceso en el que las organizaciones usan y aplican el conocimiento para crear o mejorar productos y tecnologías. Esta definición resalta que la innovación es un proceso continuo en el que la gestión del conocimiento cumple un papel clave.

Las consideraciones de Zhang et al., (2019) afirman que la innovación se materializa a través de la implementación exitosa de ideas creativas dentro de las estructuras organizacionales, destacando la importancia de la ejecución efectiva y la integración organizacional.

### *2.1.2 La innovación en contextos agrícolas y rurales*

Autores como Devaux et al., (2018) definieron la innovación agrícola como la incorporación de nuevas prácticas, tecnologías o formas de organización en los procesos del campo, con el fin de mejorar la productividad, la sostenibilidad y la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas. Esta definición muestra que la innovación en el campo tiene varias dimensiones.

De manera similar, Klerkx et al., (2012) hablan de los sistemas de innovación agrícola, que son redes formadas por organizaciones, empresas y personas que trabajan para crear y aplicar nuevos productos, procesos o formas de organización. También incluyen las instituciones y políticas que influyen en su funcionamiento y colaboración. Esta visión resalta que la innovación agrícola depende de la relación y el trabajo conjunto entre diferentes actores.

En contextos rurales como los cafeteros, la innovación enfrenta desafíos específicos, como señalan Spielman et al., (2011) en los siguientes aspectos:

- Dispersión geográfica de los productores
- Heterogeneidad de condiciones agroecológicas
- Vulnerabilidad ante factores climáticos
- Limitaciones en infraestructura y servicios
- Asimetrías de información y poder en las cadenas de valor

### *2.1.3 Teorías contemporáneas de innovación aplicadas al café*

Incorporando teorías como Design Thinking, Lean Innovation y Jobs to be Done al contexto cafetero se reconoce que para producir café especial no basta con usar buenas prácticas agrícolas. Los caficultores también deben innovar y ajustarse a lo que buscan los compradores. Existen tres métodos de innovación que están ayudando a los caficultores a mejorar su competitividad y para producir un café diferenciado.

**Design Thinking en el contexto cafetero**

Esta forma de trabajar ayuda a los caficultores a innovar y resolver problemas complejos. La clave está en entender realmente lo que necesitan los trabajadores, los compradores y los consumidores. Los productores pueden usarla en sus fincas observando bien y conversando a fondo con la gente (Kohler, 2023). Así descubren necesidades que antes pasaban desapercibida. Esta metodología puede aplicarse de manera efectiva en el sector cafetero:

**Aplicación en fincas cafeteras:**

- **Entendimiento empático de necesidades:** caficultores pueden aplicar procesos de observación y entrevistas profundas para entender mejor las necesidades reales de sus clientes (desde comercializadores hasta consumidores finales).
- **Ideación participativa:** sesiones de co-creación donde productores, trabajadores y compradores desarrollan soluciones a desafíos específicos como el mejoramiento de perfiles de sabor o reducción de impacto ambiental.
- **Prototipado rápido:** experimentación a pequeña escala con nuevos métodos de fermentación, secado o procesamiento antes de implementarlos en toda la producción.
- **Iteración basada en retroalimentación:** ciclos cortos de mejora basados en cataciones y evaluaciones sistemáticas del producto.

**Lean Innovation y su aplicación en café especial**

La Innovación Lean combina los principios de Lean Manufacturing y las metodologías ágiles para potenciar la eficiencia y la adaptabilidad en el desarrollo de soluciones (Keskin et al., 2023). Promueve la validación rápida de ideas mediante la experimentación iterativa (Ivanov y Savin, 2023) lo que reduce los riesgos de inversión y permite respuestas ágiles a los cambios del mercado (Mostafa et al., 2020). Al eliminar actividades que no agregan valor, optimiza los procesos e impulsa una cultura de mejora continua (Keskin et al., 2023).

**Aplicación en la cadena cafetera:**

- **Hipótesis comprobables:** formular hipótesis claras sobre el impacto de cambios en prácticas productivas (por ejemplo, cambiar el método de secado mejorará la uniformidad del grano).
- **Producto mínimo viable (MVP):** implementar versiones simplificadas de innovaciones para probar su viabilidad antes de inversiones mayores.

- **Métricas de validación:** establecer indicadores medibles para evaluar objetivamente el éxito de las innovaciones implementadas.
- **Pivote o perseverancia:** capacidad para modificar (pivotar) o continuar una estrategia basándose en datos concretos.

La metodología Lean es muy útil cuando hay pocos recursos, algo común entre los pequeños productores de café. En lugar de comprar un equipo costoso y completo como un beneficiadero, un caficultor puede empezar por usar solo una parte. Por ejemplo, un mecanismo simple para reutilizar agua. Esto le permite identificar cuáles son los beneficios y calcular si el dinero invertido genera ganancias.

### Jobs to be Done: Entendiendo las necesidades fundamentales

Según Clayton Christensen, la teoría Jobs to be Done (JTBD) propone que las personas no compran productos solo por sus características, sino para resolver necesidades concretas en su día a día. Esta perspectiva tiene en cuenta no solo lo práctico, sino también cómo un producto hace sentir al usuario y qué imagen proyecta socialmente. Cuando las empresas logran entender estas "tareas" por las que los clientes "contratan" un producto, pueden crear innovaciones más acertadas que respondan a sus verdaderas necesidades (Christensen et al., 2016).

Aplicación en la cadena de valor del café:

- **Identificación de trabajos del consumidor:** comprende las verdaderas motivaciones detrás del consumo de café especial (por ejemplo, tener una experiencia sensorial única o apoyar prácticas sostenibles verificables).
- **Segmentación basada en necesidades:** desarrolla ofertas diferenciadas según los diversos trabajos que los consumidores buscan satisfacer.
- **Innovación orientada al propósito:** diseña prácticas productivas que respondan directamente a las necesidades fundamentales que se han identificado.
- **Comunicación de valor alineada:** desarrolla narrativas que conectan las prácticas productivas con los trabajos que los consumidores buscan realizar.

### *2.1.4 Innovación y sostenibilidad en la cadena de valor del café*

Hoy en día, es cada vez más importante unir la innovación con la sostenibilidad en el mundo del café. Según Samper y Quiñones (2017), innovar de manera sostenible en este sector significa cambiar la forma de trabajar para lograr un equilibrio entre lo económico, lo social y lo ambiental en todas las etapas de la producción.

Esto se puede ver desde tres aspectos clave:

1. **Sostenibilidad económica**: se trata de cambios que hacen más eficiente y rentable el trabajo, garantizando que todos los que participan en la cadena de valor del café puedan mantener su negocio en el futuro.
2. **Sostenibilidad social**: se refiere a innovaciones que buscan mejorar las condiciones de los trabajadores, incluir a grupos en situación de vulnerabilidad, promover la igualdad de género y fortalecer a las comunidades que dependen del café.
3. **Sostenibilidad ambiental**: son aquellas mejoras que ayudan a proteger los recursos naturales, conservar la biodiversidad, adaptarse al cambio climático y reducir el daño al medio ambiente.

En la misma línea, Pisano et al., (2015) señalan que la verdadera innovación sostenible va más allá de solo usar nueva tecnología. Su objetivo es crear soluciones que resuelvan problemas sociales concretos y, al mismo tiempo, reduzcan el impacto negativo en el planeta. Esta forma de pensar es especialmente útil para el café especial, donde lo que lo hace único y valioso son precisamente sus credenciales de sostenibilidad, que pueden ser comprobadas.

Según Lai et al., (2017) la innovación se ha convertido en una herramienta importante para abordar los desafíos ambientales y promover el desarrollo sostenible, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Esto explica el creciente interés en prácticas innovadoras que permitan a los caficultores adaptarse al cambio climático, reducir su huella ambiental y fortalecer su resiliencia.

## 2.2 Tipos de innovación aplicables al sector cafetero

Comprender los diferentes tipos de innovación permite identificar oportunidades diversas para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector cafetero. Existen varias taxonomías, siendo una de las más utilizadas la propuesta por el Manual de Oslo (2018) que distingue entre innovaciones de producto y de procesos de negocio.

### *2.2.1 Innovación de producto en el contexto cafetero*

Según el Manual de Oslo (2018) la innovación de producto se define como un producto nuevo o mejorado que difiere significativamente de los productos anteriores de la empresa, y que ha sido introducido en el mercado. En el contexto cafetero, estas innovaciones pueden manifestarse de diversas formas:

- **Desarrollo de nuevas variedades de café**: como ejemplifica el programa de mejoramiento genético de Cenicafé en Colombia, que ha desarrollado variedades resistentes a la roya como Castillo, Colombia y Cenicafé 1, combinando productividad, calidad y resistencia a enfermedades.
- **Cafés con atributos diferenciados**: incluye cafés de origen con características organolépticas únicas, microlotes, cafés de proceso experimental (fermentaciones controladas, procesos honey, naturales, etc.) y perfiles de taza innovadores.
- **Productos derivados del café**: desarrollo de nuevos productos a partir del café o sus subproductos, como extractos, concentrados, bebidas listas para consumo, productos cosméticos o biotecnológicos derivados de la cereza.
- **Productos complementarios**: innovaciones en empaques sostenibles, sistemas de conservación, presentaciones personalizadas y experiencias asociadas al consumo de café.

### *2.2.2 Innovación en procesos de negocio para el sector cafetero*

El Manual de Oslo (2018) define la innovación en procesos de negocio como un proceso nuevo o mejorado para una o más funciones de negocio, que difiere

significativamente de los procesos anteriores y que ha sido implementado en compañías y sectores productivos. En el sector cafetero, estas innovaciones abarcan:

- **Innovaciones en métodos de producción**: incluyen técnicas agroecológicas avanzadas, sistemas de cultivo bajo sombra optimizados, fertiirrigación de precisión, manejo integrado de plagas con métodos biológicos y procesos de beneficio ecoeficientes.
- **Innovaciones en logística y distribución**: comprenden sistemas de trazabilidad digital, procesos optimizados de almacenamiento y transporte, nuevos canales de distribución directa y plataformas de comercio electrónico especializadas.
- **Innovaciones en mercadeo y ventas**: abarcan estrategias de diferenciación por origen, estrategias digitales de conexión con consumidores y experiencias inmersivas alrededor del café.

  **Innovaciones en sistemas de información**: incluyen digitalización de registros de finca, implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, aplicaciones móviles para asistencia técnica y plataformas colaborativas de gestión del conocimiento.
- **Innovaciones en administración y gestión**: comprenden nuevos modelos asociativos, esquemas de gobernanza participativa, sistemas de certificación y verificación, y modelos de negocios inclusivos.

### *2.2.3 Innovación tecnológica versus no tecnológica*

Otra clasificación relevante distingue entre innovaciones tecnológicas y no tecnológicas, una distinción particularmente útil en el contexto de la caficultura, donde coexisten avances de alta tecnología con innovaciones sociales y organizacionales de base comunitaria. Lambrecht et al., (2014) destacan cuatro tipos de innovación que pueden darse en la agricultura:

1. Innovación de producto: Introducción de nuevos cultivos, variedades o productos derivados.
2. Innovación de proceso: Implementación de nuevos métodos de producción, beneficio o procesamiento.

3. Innovación de mercadeo: Nuevas formas de comercialización, presentación o posicionamiento.
4. Innovación organizacional: Nuevas estructuras organizativas, modelos de negocio o formas de colaboración.

En este contexto, Lambrecht et al., (2014) mencionan que las innovaciones tecnológicas típicamente corresponden a las dos primeras categorías, mientras que las innovaciones no tecnológicas están más asociadas a las dos últimas. Asimismo, Hong et al., (2018) añaden otras dimensiones al distinguir entre:

- **Innovación exploratoria**: busca desarrollar propuestas radicalmente nuevas, alejándose significativamente de las prácticas actuales. Un ejemplo sería el desarrollo de sistemas de producción de café en ambientes controlados o verticales.
- **Innovación explotativa**: construye sobre tecnologías y prácticas existentes para lograr mejoras incrementales. Por ejemplo, la optimización gradual de técnicas de compostaje para mejorar la fertilidad del suelo.

Esta distinción es relevante para el sector cafetero colombiano, donde la coexistencia de pequeños productores tradicionales con empresas altamente tecnificadas requiere estrategias de innovación diferenciadas.

### *2.2.4 El enfoque de la innovación sostenible para el café especial*

En el ámbito específico del café especial, donde los atributos de sostenibilidad son cada vez más valorados, emerge un enfoque integral que Samper y Quiñones (2017) denominan innovación para la sostenibilidad cafetera. Este modelo categoriza las innovaciones según su contribución a diferentes dimensiones de la sostenibilidad:

- **Innovaciones para la sostenibilidad ambiental**: incluyen prácticas agroforestales avanzadas, gestión integrada de recursos hídricos, valorización circular de subproductos y estrategias de adaptación al cambio climático.
- **Innovaciones para la sostenibilidad social**: comprenden modelos de asociatividad inclusiva, mecanismos de distribución equitativa de

valor, programas de relevo generacional y plataformas de creación de capacidades locales.

- **Innovaciones para la sostenibilidad económica**: abarcan estrategias de diversificación productiva, mecanismos financieros adaptados, esquemas de gestión de riesgos y modelos de negocios regenerativos.
- **Innovaciones para la sostenibilidad cultural**: incluyen estrategias de preservación y valorización de conocimientos tradicionales, rutas de turismo cafetero y narrativas territoriales que conectan café, cultura y paisaje.

Lo que hace especial a esta perspectiva es que analiza el problema como un todo. Su premisa central es que los mejores avances son los que hacen que lo económico, lo social y lo ambiental funcionen en conjunto, mejorándose mutuamente, y no que el progreso en un área signifique un retroceso en otra.

## 2.3 Modelos de innovación relevantes para el sector cafetero

Para entender y dirigir los procesos de cambio, existen diversos marcos de referencia o modelos de innovación. Algunos de estos esquemas resultan muy relevantes para la industria cafetera.

### *2.3.1 Evolución de los modelos de innovación*

La concepción sobre cómo surge la innovación no ha sido estática; ha ido madurando, y con ella, los modelos que la explican.

**Modelos lineales (primera generación).** Hasta los años ochenta, predominaba la idea de la innovación como una cadena de pasos fijos. Se visualizaba como un recorrido que arrancaba en el laboratorio con la ciencia pura, daba el salto a la investigación práctica, luego se materializaba en un prototipo, después se producía en masa y, por último, llegaba al consumidor. Un caso emblemático de esta mentalidad es el sistema "Stage-Gate" de Cooper (1993) que estructura el proceso en fases discretas con "puertas" o revisiones que dan luz verde para pasar a la siguiente etapa.

**Modelos interactivos (segunda generación).** Los primeros modelos lineales no funcionaban bien en la realidad. Por eso nacieron enfoques que buscan que

todos colaboren. Vettik y Mets (2024) proponen un sistema donde cinco etapas del proceso agroindustrial trabajan juntas de forma simultánea. En su modelo, cada fase se comunica con las demás y se van haciendo mejoras sobre la marcha.

**Modelos sistémicos (tercera generación).** Se entiende que la innovación surge de la colaboración entre muchos actores. Lundvall (1992) creó el concepto de "sistemas de innovación" que estudia cómo empresas, universidades y gobiernos trabajan juntos. Son estas alianzas las que permiten que surjan nuevas soluciones en sectores o regiones específicas.

**Modelos abiertos (cuarta generación).** Bogers et al., (2018) identificaron que las mejores ideas vienen de dentro y fuera de la empresa. Su investigación muestra que las organizaciones tienen más éxito cuando mezclan ideas internas con aportes externos, y cuando usan diferentes caminos para llegar al mercado.

**Modelos de innovación transformativa (quinta generación).** Los enfoques más nuevos usan la innovación para resolver problemas grandes de la sociedad. Schot y Steinmueller (2018) hablan de reinventar completamente cómo funcionan nuestros sistemas tecnológicos y sociales. Su propuesta busca alinear la innovación con la protección del medio ambiente y el bienestar social.

### *2.3.2 Modelos de innovación agrícola aplicables al café*

Algunos modelos de innovación han sido desarrollados específicamente para el contexto agrícola, resultando especialmente relevantes para el sector cafetero.

**Modelo AKIS (Agricultural Knowledge and Innovation System).** Varios grupos trabajan en equipo: los que investigan, los que enseñan, los que venden insumos y los que cultivan café. EU SCAR (2012) explica que así se deja atrás el método antiguo donde solo se daban órdenes. Ahora el conocimiento va y viene entre todos, como una conversación.

**Modelo de plataformas de innovación.** Kilelu et al., (2013) juntan a todos los que trabajan con café en una misma mesa. Hablan de los problemas que tienen en común y buscan soluciones prácticas. Esto funciona bien porque algunos problemas son muy grandes para resolverlos solo.

**Modelo de desarrollo participativo de innovaciones**

Waters et al., (2015) escuchan lo que los caficultores saben por experiencia. Lo mezclan con los conocimientos técnicos. Hacen pruebas en las fincas y los agricultores comparten lo que aprenden entre ellos. En el café, donde cada zona es diferente, esto es muy útil.

**Modelo de escalamiento de innovaciones.** En este modo, Mosquera et al., (2022) encontraron qué se necesita para que las buenas ideas se expandan. Tener objetivos claros, formas de trabajo prácticas, formar las comunidades, que la gente confíe en las instituciones y que confíe en las personas que dirigen el proyecto. Esto ayuda a que las mejoras lleguen a más caficultores.

### *2.3.3 Modelos específicos para la innovación en café especial sostenible*

Enfocándose específicamente en el café especial sostenible, algunos modelos de innovación han sido desarrollados o adaptados para abordar sus particularidades:

**Modelo de innovación para la sostenibilidad cafetera.** Samper y Quiñones (2017) proponen un enfoque holístico que integra dimensiones económicas, sociales, ambientales y culturales, reconociendo las interrelaciones entre estas. El modelo enfatiza el balance entre estas dimensiones y establece que la innovación sostenible en café debe generar valor compartido para todos los actores de la cadena.

**Modelo de cadenas de valor integradas.** En una línea complementaria, Pereira et al., (2021) analizan iniciativas de empresas cafeteras orientadas a la economía circular, proponiendo un marco que integra innovaciones en diferentes eslabones de la cadena, desde la producción hasta el consumo y la valorización de residuos. Este modelo resulta particularmente relevante para el café especial, donde la diferenciación y creación de valor dependen de la integración efectiva de la cadena.

**Modelo de innovación climáticamente inteligente.** Con una orientación hacia los retos ambientales, Lipper et al., (2020) desarrollan un marco específico para la innovación orientada a la adaptación y mitigación del cambio climático en sistemas agrícolas. Aplicado al café, este modelo enfatiza la triple dimensión

de la agricultura climáticamente inteligente: aumentar la productividad, fortalecer la resiliencia y reducir emisiones cuando sea posible.

**Modelo de innovación territorial para sistemas cafetaleros.** Asimismo, Barjolle et al., (2017) proponen un enfoque que reconoce la importancia del territorio como espacio de construcción social donde se desarrollan innovaciones vinculadas al origen geográfico. Este modelo resulta particularmente adecuado para el café especial, donde los atributos territoriales (suelo, clima, prácticas culturales) son fundamentales para la diferenciación.

## 2.4 Factores determinantes de la innovación en fincas cafeteras

Para desarrollar un modelo de innovación efectivo para el café especial, es fundamental comprender los factores que influyen en la capacidad innovadora de las fincas cafeteras. La literatura especializada y estudios empíricos han identificado varios factores críticos.

### *2.4.1 Factores económicos*

Los aspectos económicos constituyen factores determinantes de la innovación en fincas cafeteras están relacionados con:

**Acceso a financiamiento.** En este contexto, Kahan (2012) identifica las limitaciones financieras como una de las principales barreras para la innovación agrícola. El acceso a crédito, capital semilla o mecanismos alternativos de financiamiento resulta crucial para implementar innovaciones que requieren inversión inicial.

**Rentabilidad y estabilidad de ingresos.** Wahyudi et al., (2020) señalan que la volatilidad de los precios del café desincentiva la inversión en innovaciones a largo plazo. Por el contrario, esquemas que aseguran precios estables y rentabilidad adecuada, como las certificaciones, crean condiciones favorables para la innovación.

**Economías de escala.** El tamaño y escala de la finca influyen en su capacidad innovadora. Estudios de Reardon et al., (2018) muestran que fincas más grandes pueden distribuir los costos fijos de la innovación entre mayor producción;

sin embargo, también señalan que la asociatividad puede permitir a pequeños productores superar esta limitación.

**Integración en cadenas de valor.** En este aspecto, Fernández y Bamber (2012) destacan que las fincas mejor integradas en cadenas de valor tienen mayor propensión a innovar, especialmente cuando estas cadenas transmiten efectivamente información sobre requisitos de mercados especializados.

### *2.4.2 Factores sociales y organizacionales*

Las dimensiones sociales y organizativas juegan un papel crucial en la capacidad innovadora:

**Capital humano.** Como señalan, Fabregas et al., (2019) resaltan la importancia del nivel educativo, habilidades técnicas y capacidad de aprendizaje de los caficultores y trabajadores. Estos factores determinan la capacidad para identificar, adaptar e implementar innovaciones.

**Capital social.** Kilelu et al., (2013) enfatizan el rol de las redes sociales, la confianza y las normas compartidas en la difusión de innovaciones. Las comunidades con mayor capital social tienden a adoptar innovaciones más rápidamente a través del aprendizaje colectivo.

**Estructuras organizativas.** Según lo planteado por Mosquera et al., (2022) la presencia de organizaciones de productores efectivas, como cooperativas o asociaciones, facilita la innovación al proporcionar servicios, conocimientos y economías de escala.

**Equidad de género.** Tal como lo documentan Twyman et al., (2015) las fincas con mayor equidad en la toma de decisiones entre hombres y mujeres tienden a adoptar más innovaciones, especialmente aquellas relacionadas con sostenibilidad y diversificación.

**Factores generacionales.** En este sentido, Ruiu y Breschi (2019) identifican el envejecimiento de la población cafetera como un obstáculo para la innovación, mientras que el involucramiento de jóvenes, con mayor apertura a nuevas tecnologías y modelos de negocio, actúa como catalizador.

### *2.4.3 Factores ambientales y agroecológicos*

Las condiciones ambientales y las características agroecológicas tienen una influencia determinante para los factores de innovación en las fincas cafeteras:

**Condiciones climáticas y edáficas.** Laderach et al., (2011), señalan que las características biofísicas específicas de cada territorio condicionan la pertinencia y efectividad de diferentes innovaciones, requiriendo adaptaciones locales de las tecnologías.

**Presión de plagas y enfermedades.** Así mismo Avelino et al., (2015) documentan cómo crisis fitosanitarias, como la roya del café, actúan como catalizadores de innovación, impulsando la adopción de nuevas variedades resistentes y prácticas de manejo integrado.

**Variabilidad climática.** Por otra parte, DaMatta et al., (2023) destacan que la creciente inestabilidad climática está acelerando la adopción de innovaciones orientadas a la resiliencia, como sistemas agroforestales complejos, gestión avanzada del agua y diversificación productiva.

**Biodiversidad y servicios ecosistémicos.** Perfecto et al., (2019) evidencian que los cafetales con mayor biodiversidad asociada tienden a ser más resilientes y requieren menos insumos externos, creando condiciones favorables para innovaciones agroecológicas.

### *2.4.4 Factores tecnológicos y de conocimiento*

El acceso a tecnologías adecuadas y conocimientos relevantes resulta determinante:

**Investigación y desarrollo adaptados al contexto.** De acuerdo con Nelson y Coe (2014) enfatizan la importancia de sistemas de I+D que respondan a las necesidades específicas de diferentes tipos de caficultores y contextos agroecológicos.

**Servicios de extensión y asistencia técnica.** En esta línea, Fabregas et al., (2019) documentan el impacto positivo de servicios de extensión efectivos,

especialmente aquellos que combinan asistencia presencial con herramientas digitales y metodologías participativas.

**Sistemas de información.** Otro aspecto relevante, Panhuysen y Pierrot (2022) mencionan que el acceso a información sobre mercados, precios, tendencias de consumo y requerimientos de certificación influye significativamente en las decisiones de innovación de los caficultores.

**Infraestructura digital.** En relación con la tecnología, Nelson y Coe (2014) identifican la brecha digital como un obstáculo creciente para la innovación en zonas cafeteras, mientras que el acceso a conectividad y dispositivos se convierte en un facilitador clave de adopción tecnológica.

**Gestión del conocimiento local.** Se destaca que Waters et al., (2015) mencionan la importancia de documentar, validar y difundir el conocimiento tradicional y las innovaciones locales desarrolladas por los propios caficultores.

### *2.4.5 Factores de gobernanza y políticas públicas*

El entorno institucional y regulatorio juega un papel crucial en la configuración de los procesos innovativos del sector cafetero. La articulación efectiva entre diferentes niveles de gobierno y la coherencia en las políticas públicas determinan significativamente las condiciones habilitantes para la innovación:

**Políticas sectoriales.** Respecto a esto, Barjolle et al., (2017) analizan cómo las políticas específicas para el sector cafetero pueden crear incentivos o barreras para diferentes tipos de innovación, a través de subsidios, regulaciones o estándares.

**Marco regulatorio.** Por otro lado, Samper y Quiñones (2017) documentan la influencia de regulaciones relacionadas con propiedad intelectual, sanidad vegetal, uso de agua, estándares ambientales y comercio internacional en las trayectorias de innovación cafetera.

**Inversión pública en bienes públicos.** De igual manera, Panhuysen y Pierrot (2022) enfatizan el rol crítico de la inversión en infraestructura (vías, riego, energía), investigación pública y servicios de extensión como catalizadores de innovación privada.

**Estabilidad institucional.** Así también, Vicol et al., (2018) destacan que la continuidad de programas y el funcionamiento efectivo de instituciones sectoriales están correlacionados positivamente con mayores tasas de innovación en regiones cafeteras.

## 2.5 Hacia un modelo integrado de innovación para el café especial

A partir de la revisión conceptual y teórica presentada, se pueden identificar los elementos constitutivos de un modelo integrado de innovación específicamente orientado al café especial sostenible. Este modelo debe contemplar la interacción dinámica entre múltiples dimensiones y actores, reconociendo las particularidades del sector cafetero y las exigencias crecientes de sostenibilidad y calidad diferenciada.

### *2.5.1 Principios fundamentales*

El modelo se construye sobre los siguientes principios, derivados del análisis teórico:

- La innovación en café especial debe concebirse como un proceso sistémico, no lineal, que involucra múltiples actores interconectados.
- Las innovaciones más efectivas son aquellas que equilibran las dimensiones económica, social y ambiental, generando valor compartido en toda la cadena.
- El conocimiento local y la experimentación de los caficultores constituyen fuentes valiosas de innovación que deben integrarse con el conocimiento científico formal.
- La diversidad de contextos cafeteros requiere soluciones adaptadas, no enfoques uniformes, reconociendo la heterogeneidad de fincas, territorios y mercados.
- La innovación en café especial debe orientarse no solo a resolver problemas inmediatos sino a construir resiliencia a largo plazo frente a desafíos emergentes.

### *2.5.2 Categorías analíticas propuestas*

Para estructurar el análisis de la innovación en fincas cafeteras, se proponen siete categorías que integran las diversas perspectivas teóricas revisadas:

- **Factor económico**: variables relacionadas con rentabilidad, estabilidad financiera, acceso a mercados y eficiencia productiva.
- **Factor social**: variables vinculadas a condiciones laborales, equidad, organización comunitaria y capital humano.
- **Factor ambiental**: variables asociadas a conservación de biodiversidad, gestión de recursos naturales, respuesta al cambio climático y servicios ecosistémicos.
- **Factor de producción**: variables relacionadas con prácticas agronómicas, calidad del producto, beneficio y procesamiento.
- **Factor de conocimiento**: variables vinculadas a capacitación, experimentación, investigación participativa y gestión del conocimiento.
- **Factor tecnológico**: variables asociadas a adopción de tecnologías, digitalización, equipamiento y sistemas de información.
- **Factor de gestión del cambio**: variables relacionadas con adaptabilidad, liderazgo, planificación estratégica y capacidad de respuesta ante cambios del entorno.

Estos factores proporcionan un marco analítico para identificar y evaluar los diferentes tipos y dimensiones de la innovación en fincas cafeteras, reconociendo las diferencias que presenta cada uno de los procesos de innovación.

### *2.5.3 La innovación como proceso dinámico*

El modelo reconoce que la innovación en fincas cafeteras no es un evento aislado sino un proceso dinámico que atraviesa distintas fases:

**Identificación de necesidades y oportunidades.** En esta fase inicial, los caficultores reconocen problemáticas o visualizan oportunidades que

podrían abordarse mediante la innovación. Según Devaux et al., (2018) esta identificación puede surgir de diversas fuentes: experiencia directa, intercambio con otros productores, información de mercado, asistencia técnica o señales del entorno natural.

**Búsqueda y adaptación de soluciones.** Esta fase implica la exploración activa de alternativas, mediante la búsqueda de conocimientos y nuevas tecnologías o por experimentación propia. Autores como Waters et al., (2015) destacan que los caficultores no son solo receptores de tecnologías, sino que las adaptan creativamente a su entorno.

**Implementación y ajuste.** Las innovaciones que han sido seleccionadas se colocan en práctica, de manera gradual y experimental. Tal como lo señala Kilelu et al., (2013) señala que esta implementación no es lineal, sino que implica ciclos de prueba, aprendizaje y ajuste.

**Diseminación y escalamiento.** Las innovaciones exitosas pueden expandirse y repetirse, sea horizontalmente (entre pares) o verticalmente (institucionalizándose en políticas o programas). Por lo previo Mosquera et al., (2022) identifica como elementos clave: a) la credibilidad de las experiencias, b) la evidencia tangible de beneficios y b) la adaptabilidad a diferentes entornos.

### *2.5.4 Interacción entre múltiples escalas*

El modelo reconoce que la innovación en café especial ocurre y es influenciada por dinámicas en múltiples escalas interconectadas:

**Escala de finca.** Comprende las prácticas, decisiones y capacidades a nivel del productor individual y su unidad productiva. Es el espacio primario de experimentación y adaptación.

**Escala comunitaria.** Abarca las interacciones entre productores, las organizaciones de base y los procesos colectivos locales. Es un espacio clave para el aprendizaje horizontal y la acción colectiva.

**Escala territorial.** Incluye las dinámicas a nivel de paisaje, cuenca o región productora. Especialmente relevante para innovaciones que requieren

coordinación espacial, como la gestión de recursos naturales compartidos o la construcción de denominaciones de origen.

**Escala sectorial.** Comprende las instituciones, políticas y servicios específicos del sector cafetero. Establece el marco regulatorio y proporciona bienes públicos sectoriales que condicionan la innovación.

**Escala de cadena de valor.** Abarca las relaciones entre los diversos actores involucrados en la producción, transformación, comercialización y consumo del café. Define incentivos, estándares y flujos de información que influyen en las decisiones de innovación.

**Escala global.** Incluye tendencias internacionales, acuerdos comerciales, estándares globales y dinámicas de mercados internacionales que establecen el contexto más amplio para la innovación local.

La interacción entre estas escalas es bidireccional: las innovaciones locales pueden escalar e influir en políticas sectoriales o estándares globales, mientras que marcos regulatorios o tendencias globales condicionan las posibilidades de innovación local.

## 2.6 Manual de Oslo y certificaciones de café sostenible

Esta sección explora la integración del Manual de Oslo con los estándares de certificación de café sostenible, proporcionando un marco teórico robusto para la investigación.

### *2.6.1 El Manual de Oslo como marco de referencia*

El Manual de Oslo (2018) desarrollado por la OCDE y Eurostat, representa el referente internacional para la conceptualización y medición de la innovación. Su cuarta edición introduce cambios significativos respecto a versiones anteriores:

- Simplifica la tipología de innovaciones, distinguiendo principalmente entre innovaciones de producto e innovaciones en procesos de negocio.

- Enfatiza la innovación como proceso, no solo como resultado, reconociendo la importancia de las actividades orientadas a la innovación.
- Expande la cobertura más allá del sector manufacturero, incorporando mejor las particularidades del sector servicios y de contextos agrícolas.
- Reconoce la relevancia de innovaciones no tecnológicas, incluyendo las organizacionales y de mercadeo.
- Incorpora consideraciones sobre sostenibilidad e impacto social de las innovaciones.

Estos cambios hacen que el Manual de Oslo resulte apropiado como marco de referencia teórico para estudiar la innovación en el sector cafetero, donde se pueden encontrar elementos tecnológicos, organizacionales, ambientales y sociales.

### *2.6.2 Certificaciones de café sostenible como estándares de innovación*

Las certificaciones de café sostenible hoy son guías completas que cubren todos los aspectos del cultivo. Estas normas, según Samper y Quiñones (2017) sirven como reglas claras que organizan y promueven formas innovadoras de producir café cuidando la tierra, las personas y la economía local. Entre las certificaciones más relevantes para el café especial se encuentran:

**Rainforest Alliance.** Enfocada en la conservación de la biodiversidad y en medios de vida sostenibles, establece estándares para prácticas agrícolas, conservación de ecosistemas, derechos laborales y relaciones comunitarias. Su fusión con UTZ en 2018 consolidó un estándar integral de sostenibilidad cafetera.

**Fairtrade (Comercio Justo).** Orientada a mejorar las condiciones comerciales y asegurar los derechos de productores marginados, establece estándares sobre precios mínimos, primas sociales, condiciones laborales, organización democrática y prácticas ambientales.

**Certificación Orgánica (IFOAM).** Centrada en la eliminación de agroquímicos sintéticos y la promoción de sistemas agrícolas basados en

procesos ecológicos, establece estándares sobre prácticas de producción, insumos permitidos, procesamiento y trazabilidad.

**Código de Conducta 4C.** Desarrollado como estándar de entrada accesible para un amplio espectro de productores, establece requisitos fundamentales en dimensiones económicas, sociales y ambientales con un enfoque de mejora continua.

**Prácticas C.A.F.E. de Starbucks.** Desarrolladas por la corporación para asegurar su suministro de café de calidad producido responsablemente, establecen criterios sobre calidad del producto, responsabilidad económica, social y liderazgo ambiental.

### *2.6.3 Convergencia entre el Manual de Oslo y las certificaciones de café*

Un análisis detallado revela significativas convergencias entre la conceptualización de innovación del Manual de Oslo y los requerimientos de las certificaciones de café sostenible:

**Innovación de producto.** Las certificaciones promueven la diferenciación del café basada en atributos verificables de sostenibilidad, origen y calidad, alineándose con la definición de innovación de producto del Manual de Oslo como productos significativamente mejorados que difieren de los anteriores.

**Innovación en procesos productivos.** Los estándares de certificación establecen requisitos para métodos de producción ecológicamente responsables, eficientes en el uso de recursos y socialmente justos, correspondiendo a lo que el Manual de Oslo define como procesos nuevos o mejorados para la producción de bienes.

**Innovación en logística y distribución.** Los sistemas de trazabilidad, cadena de custodia y transparencia requeridos por las certificaciones constituyen innovaciones en lo que el Manual de Oslo categoriza como procesos de logística y distribución.

**Innovación en administración y gestión.** Los requisitos sobre gobernanza organizacional, gestión financiera transparente y sistemas participativos de

toma de decisiones representan innovaciones en administración y gestión según la tipología del Manual.

**Innovación en información y comunicación.** Los sistemas de monitoreo, registro documental y comunicación entre actores de la cadena exigidos por las certificaciones se alinean con la categoría de innovación en sistemas de información y comunicación.

Esta convergencia proporciona una base teórica sólida para integrar el marco analítico del Manual de Oslo con los estándares prácticos de las certificaciones de café sostenible, permitiendo construir un modelo específico para analizar la innovación en el contexto del café especial.

### *2.6.4 Esquema integrado para el análisis de la innovación en café especial*

Para el análisis de la innovación aplicado al proceso de producción del café, se deben de considerar los siguientes aspectos:

- La tipología de innovaciones del Manual de Oslo (2018)
- Los factores clave identificados en certificaciones de café sostenible
- Las variables específicas para cada factor

Estos aspectos son importantes pues integran factores presentes importantes inmersos en el Manual de Oslo y en las certificaciones de café sostenible. A partir de estos, se seleccionan los factores y variables en común que se tiene para ser aplicados en el proceso de producción del Café. Una vez aplicadas las variables se pueden identificar cuales procesos tienen oportunidad de mejora para así poder convertir un café normal en especial.

**Nivel 1: Tipos de innovación.** Siguiendo el Manual de Oslo, se distingue entre innovaciones de producto e innovaciones en procesos de negocio (desglosadas en sus diversas categorías funcionales).

**Nivel 2: Factores de innovación.** Se identifican siete factores clave presentes en las principales certificaciones de café sostenible: económico, social, ambiental, producción, conocimiento, tecnología y gestión del cambio.

**Nivel 3: Variables específicas.** Para cada factor, se identifican variables apropiadas y medibles que permiten evaluar el nivel de innovación de los procesos de producción en las fincas cafeteras.

Este esquema proporciona un marco teórico claro para:

- Identificar y categorizar diferentes tipos de innovación en fincas cafeteras
- Evaluar el nivel de innovación en cada dimensión relevante para el café especial
- Analizar los factores que impulsan o limitan la capacidad innovadora
- Diseñar estrategias específicas para fortalecer la innovación en áreas críticas

## Conclusiones

La identificación de los conceptos comunes entre el Manual de Oslo y las certificaciones de café sostenible es un aporte importante para la teoría. Esto ayuda a entender mejor la innovación en el campo agrícola. Esta combinación muestra que las certificaciones internacionales actúan como reglas que organizan y fomentan nuevas prácticas. Así, los estándares de sostenibilidad se convierten en un motor para la innovación. Al identificar siete factores que impulsan la innovación (económico, social, ambiental, de producción, de conocimiento, tecnológico y de manejo del cambio), se crea una herramienta de análisis más completa. Este enfoque supera las visiones limitadas del pasado y permite entender múltiples aspectos de la innovación para su aplicación en las fincas de café.

La forma de innovar los procesos de producción del café está cambiando. Ahora se buscan métodos que lo aborden todo de manera conjunta y que inviten a trabajar en equipo. Los enfoques más modernos, que apuntan a una verdadera transformación, son los que mejor sirven para enfrentar los problemas de sostenibilidad que tiene el sector. Al usar en el sector cafetero los sistemas que unen el conocimiento del agricultor con la ciencia. Indican que el camino a seguir por los diferentes agentes involucrados, en el cual todos deben trabajar

a diferentes niveles y entender que estos cambios toman tiempo. Solo así se podrá avanzar de lleno hacia una caficultura realmente sostenible.

Las variables que impulsan la innovación en las fincas de café muestran que se trata de un proceso en el que intervienen varios factores como el económico, social, ambiental, tecnológico y de organización, que interactúan de forma sistemática para definir la capacidad de innovación de una finca cafetera. El estudio muestra que la innovación en el café especial no depende solo de la tecnología, sino de la combinación de varias variables. Entre estas se encuentran la formación de los caficultores, el apoyo de cooperativas y asociaciones, el acceso a créditos, las condiciones del suelo y clima, y el apoyo de políticas e instituciones, lo cual permite diseñar estrategias acertadas y adaptadas a la realidad del entorno del caficultor.

La base teórica desarrollada presenta conceptos necesarios para estudiar y medir la innovación de los procesos de producción en las fincas cafetaleras, además de ser usada como guía para el análisis de datos. La organización de las variables de los tipos de innovación del Manual de Oslo y los factores de innovación inmersos en las certificaciones de café sostenible permite generar un método que puede aplicarse en otros estudios sobre innovación en agricultura. Este marco conceptual crea instrumentos para evaluar, impulsar y manejar los procesos de innovación en el sector cafetero. De esta forma, se desarrolla un vínculo entre la academia y el sector cafetero.

Capítulo

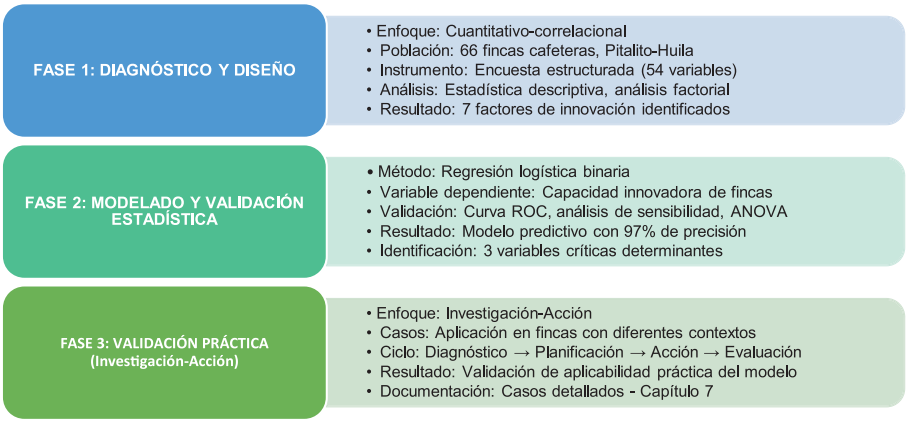
# 3

# Diseño metodológico para el estudio de la innovación cafetera

Este capítulo detalla la metodología usada para identificar los factores de innovación que permitan mejorar los procesos de producción de las fincas cafeteras. Se desarrolla un método para analizar la información, seleccionando un enfoque cuantitativo de tipo correlacional, que incluye el diseño de una encuesta, la validación de la información y el uso de técnicas estadísticas para analizar los datos. La metodología busca combinar el rigor científico con su aplicación práctica, con el fin de asegurar que las variables identificas como innovadoras sean útiles para los caficultores. El objetivo a seguir es identificar las variables clave de la innovación y desarrollar un modelo de innovación para enriquecer el conocimiento académico que apoye la toma de decisiones en el sector cafetero.

Se desarrolla la figura 3, que presenta el diseño metodológico completo, mostrando la secuencia desde el diagnóstico inicial hasta la validación práctica del modelo desarrollado. Esta estructura permite identificar variables críticas de innovación mediante análisis un estadístico detallado, y también validar su aplicabilidad en contextos productivos reales.

**Figura 3.** *Diseño metodológico de la investigación*




**Nota.** Elaboración propia.

## 3.1 Fundamentos del enfoque metodológico

La investigación sobre innovación en el sector cafetero requiere de enfoques metodológicos sólidos que permitan abordar la complejidad de este fenómeno. Esta sección presenta los fundamentos que guían el diseño de investigación.

### *3.1.1 Bases epistemológicas y paradigmas de investigación*

El estudio de la innovación cafetera puede abordarse desde diferentes paradigmas epistemológicos, cada uno con implicaciones significativas para el diseño metodológico:

**Paradigma positivista.** Como lo explica Creswell (2014) este método intenta encontrar las causas y efectos midiendo las cosas de forma objetiva. En el caso del café, ayuda a ver qué tan relacionadas están ciertas cosas (como la manera de cultivar, el perfil de los caficultores o el clima) con los avances que logran. Los estudios que usan esta forma de trabajo usualmente recurren a números y estadísticas, aplicando encuestas con preguntas fijas y haciendo cálculos para sacar conclusiones que sirvan para generar conocimiento.

**Paradigma interpretativo.** Según Taylor (2019) se enfoca en entender qué significan las acciones para las personas que las desarrollan. Cuando se usa para

estudiar cómo la innovación en los cafeteros sirve para descubrir cómo ellos ven, entienden y encuentran sentido a los cambios en los procesos, teniendo en cuenta su propia forma de trabajar. Las maneras de conseguir esta información son a través de entrevistas y acompañamiento para entender la recepción de la información.

**Paradigma pragmático.** Este paradigma definido por Morgan (2014, coloca el problema que se quiere resolver por encima de discusiones teóricas sobre cómo conocemos la realidad. Lo que importa es qué métodos funcionan mejor para lo que necesitamos averiguar. Esto se ajusta con los estudios relacionados con el café, porque hay procesos complejos que se deben analizar desde varios ángulos y usar distintas herramientas a la vez.

La investigación se ajusta a esta idea pragmática, porque acepta que la innovación en el sector cafetero tiene muchas variables y se debe analizar con distintos enfoques para entender sus procesos asociados.

### *3.1.2 Justificación del enfoque cuantitativo*

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo dado que está sustentado en varias consideraciones clave:

**Naturaleza de las preguntas de investigación.** Las preguntas centrales del estudio requieren la identificación y cuantificación de variables concretas que influyen en la adopción de innovaciones por parte de los caficultores. El enfoque cuantitativo resulta apropiado para este propósito, dado que permite operacionalizar constructos teóricos en variables medibles y establecer relaciones estadísticas entre ellas (Hernández et al., 2014).

**Necesidad de comparación sistemática.** El análisis cuantitativo facilita la comparación objetiva entre diferentes unidades productivas, zonas geográficas y sistemas de producción cafetera. Este enfoque permite identificar patrones y diferencias significativas minimizando la influencia de sesgos subjetivos en la interpretación de los datos (Bryman, 2016).

**Estado del conocimiento previo.** La literatura existente sobre innovación agrícola proporciona marcos teóricos consolidados que orientan tanto la

selección de variables como el diseño de instrumentos de medición. Esta base conceptual previa constituye un fundamento sólido para la elaboración de las encuestas y la definición de hipótesis verificables (Kerlinger & Lee, 2002).

**Aplicabilidad de resultados.** Los que toman decisiones en el sector cafetero requieren evidencia empírica cuantificable sobre los factores que influyen en la adopción de innovaciones. Los resultados obtenidos mediante análisis cuantitativo contribuyen a fundamentar políticas públicas y programas de apoyo contextualizados a las condiciones específicas del sector y las demandas del mercado.

**Fundamentación epistemológica.** Bryman (2016) sostiene que el enfoque cuantitativo permite contrastar hipótesis y establecer relaciones causales entre variables mediante análisis estadístico. Por su parte, Kerlinger y Lee (2002) enfatizan que la investigación cuantitativa se caracteriza por la operacionalización de conceptos en variables susceptibles de medición numérica. Estos principios epistemológicos orientaron el diseño metodológico de la presente investigación.

### *3.1.3 Alcance correlacional con diseño experimental*

Dentro del enfoque cuantitativo, esta investigación adopta un alcance correlacional y un diseño experimental, cuyas características y justificación se detallan a continuación:

**Alcance correlacional.** Según Hernández et al., (2014) los estudios correlacionales tienen como propósito conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto particular. Este alcance resulta adecuado para esta investigación porque:

- Permite examinar las asociaciones entre múltiples variables de innovación y la capacidad de las fincas para producir café especial
- Facilita la identificación de patrones de covariación entre factores, sin imponer necesariamente relaciones causales simples
- Posibilita el desarrollo de modelos predictivos basados en la fuerza de las correlaciones observadas

- Creswell (2012) complementa esta visión señalando que el diseño correlacional permite medir cuantitativamente el grado de asociación entre variables mediante análisis estadísticos específicos, una ventaja significativa para para el propósito del estudio.

**Diseño experimental.** La investigación incorpora elementos de diseño experimental, particularmente en su aproximación analítica. Como señala Hernández et al. (2014) los diseños experimentales implican la manipulación intencional de variables independientes para analizar sus efectos sobre variables dependientes.

En este estudio, si bien no existe una manipulación directa de condiciones (como ocurriría en un experimento de laboratorio), se analizan las variaciones naturales en la implementación de prácticas innovadoras entre diferentes fincas como si constituyeran tratamientos diferenciados, observando sus efectos sobre la capacidad para producir café especial.

Curtis et al., (2018) destacan que, en investigaciones experimentales, los investigadores identifican variables independientes y miden su impacto sobre variables dependientes, controlando variables extrañas. Este principio orienta el análisis factorial y la construcción del modelo de regresión logística que constituyen el núcleo analítico del estudio.

## 3.2 Proceso de definición del problema

La formulación precisa del problema de investigación constituye un paso fundamental que condiciona todas las decisiones metodológicas subsecuentes.

### *3.2.1 Planteamiento del problema de investigación*

El problema de esta investigación surge de la identificación de una brecha significativa en el conocimiento sobre los factores críticos que impulsan la innovación en la producción de café especial sostenible en Colombia. Si bien existe amplia literatura sobre innovación agrícola en general, y sobre producción de café en particular, hay un conocimiento limitado sobre:

- Las variables específicas que mejor predicen la capacidad de fincas cafeteras para innovar.

- Los factores que diferencian a productores de café especial sostenible de aquellos que producen café convencional.
- Las interrelaciones entre variables económicas, sociales, ambientales, tecnológicas y de gestión en los procesos innovadores

Esta brecha tiene importantes implicaciones prácticas, pues limita la efectividad de políticas y programas orientados a fortalecer la innovación en el sector cafetero. La comprensión imprecisa sobre qué factores son realmente críticos puede llevar a inversiones no óptimas, priorizando aspectos de impacto limitado sobre aquellos verdaderamente transformadores.

El planteamiento del problema se nutre de un análisis detallado del contexto cafetero colombiano, destacando:

- La relevancia económica y social del sector, que representa el 22 % del PIB agrícola y sustenta a más de 550.000 familias.
- La posición de Colombia como tercer exportador mundial de café, con ventas anuales de USD 3,200 millones.
- El potencial aún no explotado del país en el mercado de cafés especiales, donde los atributos de sostenibilidad son crecientemente valorados.
- Los desafíos emergentes que enfrenta el sector, incluyendo cambio climático, volatilidad de precios y relevo generacional.

Este contexto fundamenta la relevancia del problema y justifica la necesidad de generar conocimiento sobre los factores críticos de innovación que podrían fortalecer la posición competitiva del café colombiano en mercados de especialidad.

### *3.2.2 Formulación de preguntas e hipótesis*

A partir del problema identificado, se formularon preguntas de investigación específicas que guiaron el diseño metodológico:

Preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles son las variables clave de innovación que influyen en los procesos de producción de las fincas cafeteras?
2. ¿Qué modelo de innovación se puede desarrollar al integrar las prácticas sostenibles y comercio justo para la producción de café especial?

A partir de estas preguntas, se formularon hipótesis medibles que pudieran ser sometidas a verificación empírica mediante métodos cuantitativos:

***Hipótesis 1:*** las variables clave de innovación relacionadas con la gestión integral de residuos, la adopción tecnológica digital y la flexibilidad ante el cambio influyen significativamente en los procesos de producción de las fincas cafeteras.

***Hipótesis 2:*** la implementación de un modelo de innovación que integre prácticas sostenibles y comercio justo en los procesos de producción de las fincas cafeteras mejorará la producción de café especial.

## 3.3 Selección del área de estudio y diseño muestral

La selección adecuada del área geográfica y el diseño de la muestra constituyen aspectos críticos que condicionan la validez y representatividad de los hallazgos.

### *3.3.1 Caracterización del área de estudio*

La investigación se desarrolló en el municipio de Pitalito, ubicado en el departamento del Huila, Colombia. La representatividad de una muestra proveniente de un solo municipio se justifica mediante el principio de muestreo por casos típicos, donde se selecciona una unidad de análisis que exhibe características ejemplares y procesos de innovación avanzados (Ramírez et al., 2024). Este enfoque metodológico es valioso cuando se estudian prácticas innovadoras, ya que permite identificar y analizar en profundidad casos de éxito que pueden servir como modelos replicables.

Al seleccionar el municipio líder en producción e innovación, se garantiza que las prácticas y modelos desarrollados representen estándares de excelencia que pueden ser adaptados y escalados a otros contextos cafeteros del país. Dentro

de Pitalito, las veredas de Guacacallos y Acacos fueron elegidas específicamente por su accesibilidad, la disponibilidad de recursos humanos para la investigación, y la proximidad entre las fincas, factores que facilitaron una recolección de datos eficiente y representativa (Ramírez et al, 2025).

**Relevancia productiva.** El municipio de Pitalito es reconocido como el mayor productor de café en Colombia, contribuyendo con el 3,2 % de la producción nacional y el 15,1 % del departamento del Huila, según datos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA (2023). Esta concentración productiva ofrece un entorno ideal para estudiar procesos de innovación cafetera.

**Diversidad de sistemas productivos.** El municipio presenta una notable heterogeneidad en sus sistemas de producción cafetera, incluyendo fincas de diferentes tamaños, niveles tecnológicos y orientaciones productivas. Esta diversidad permite analizar factores de innovación en contextos variados.

**Presencia de café especial.** En este contexto, el municipio de Pitalito ha desarrollado un posicionamiento significativo en mercados de café especial, con múltiples fincas que han adoptado certificaciones de sostenibilidad y prácticas de producción diferenciadas, lo que facilita el estudio comparativo con productores convencionales.

**Trayectoria innovadora.** Según la Agencia UNAL (2022) el crecimiento de este municipio está vinculado a la adopción de nuevos métodos en cosecha y procesamiento del café, lo que lo convierte en un laboratorio natural para estudiar procesos innovadores.

**Accesibilidad y viabilidad logística.** La región ofrece condiciones logísticas favorables para el trabajo de campo, con vías de acceso a zonas productoras y una comunidad cafetera receptiva a participar en procesos de investigación.

Dentro del municipio, se seleccionaron específicamente las veredas de Guacacallos y Acacos. Esta focalización permitió profundizar en contextos específicos manteniendo la diversidad de sistemas productivos, al tiempo que optimizaba los recursos disponibles para el trabajo de campo.

### *3.3.2 Diseño y justificación de la muestra*

Para obtener una muestra representativa y metodológicamente robusta, se implementó un muestreo probabilístico de tipo aleatorio simple:

**Marco muestral.** Se partió de los datos del Censo Nacional Agropecuario del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2023) que identificó 213 propietarios de fincas cafeteras en las veredas seleccionadas (169 en Guacacallos y 44 en Acacos).

**Tamaño muestral.** Siguiendo la metodología descrita por Rahi (2017), se aplicó la siguiente ecuación (1). para determinar el tamaño de muestra:

$$n = \frac{N\,(Z_{1-\alpha})^2\sigma^2}{Ne^2 + (Z_{1-\alpha})^2\sigma^2} \quad (1)$$

- N = Total de dueños de fincas (213)
- Z = Nivel de confianza del 95 % (1.96)
- σ (p,q) = Valor de proporciones (50)
- e = Error del 10 %

La aplicación de esta fórmula resultó en una muestra de 66 propietarios de fincas, que representa aproximadamente el 31 % de la población total.

**Justificación estadística.** El número de fincas seleccionadas busca un punto medio entre tener datos confiables y poder hacer el trabajo en la práctica. Con un 95 % de confianza y dejando un 10 % de margen de error, lo encontrado se puede aplicar con bastante seguridad a la zona del estudio.

El autor Hernández et al., (2014) explica que cuando quieres tomar un registro de cómo están las cosas en un momento dado y ver cómo se relacionan entre sí, necesitas escoger una muestra que todos tengan oportunidad de entrar, para después poder hablar de toda la población.

**Técnica de muestreo.** Se implementó un muestreo aleatorio simple, donde cada elemento de la población tuvo igual probabilidad de ser seleccionado.

Campbell (2020) describe este método como flexible para construir sinopsis de datos, siendo uno de los más utilizados en investigación cuantitativa.

La aleatorización en la selección de fincas fue crucial para minimizar sesgos y asegurar que la muestra incluyera tanto productores de café especial como convencional, así como diferentes tamaños de finca y perfiles sociodemográficos.

### *3.3.3 Diseño del instrumento de recolección de datos*

La calidad de los datos recopilados depende críticamente del diseño adecuado de los instrumentos de medición, que deben ser coherentes con el marco conceptual y las preguntas de investigación.

**Proceso de construcción del instrumento.** El desarrollo del instrumento de recolección de datos siguió un proceso sistemático para asegurar su alineación con la finalidad de la investigación:

**Revisión de literatura especializada.** El primer paso consistió en una exhaustiva revisión de literatura sobre innovación en agricultura y específicamente en café, identificando variables relevantes, escalas validadas y aproximaciones metodológicas exitosas.

**Análisis de certificaciones de café sostenible.** Se examinaron en detalle los estándares y criterios de cinco certificaciones internacionales de café sostenible: Código de Conducta 4C, Rainforest Alliance, Fairtrade, prácticas C.A.F.E. de Starbucks y certificación orgánica IFOAM. Este análisis permitió identificar variables críticas vinculadas a la sostenibilidad e innovación.

**Integración con el Manual de Oslo.** Las variables identificadas se clasificaron según la tipología del Manual de Oslo (2018) distinguiendo entre innovaciones de producto e innovaciones en procesos de negocio (desglosadas en sus diversas categorías funcionales).

**Estructuración por factores.** Tomando la información de análisis desarrollado en la investigación, se identificaron siete factores clave que agrupan las variables de innovación: económico, social, ambiental, producción, conocimiento, tecnología y gestión del cambio.

**Desarrollo de ítems específicos.** Para cada factor se desarrollaron ítems específicos (preguntas) que permitieran medir de manera operativa las variables de innovación. Estos ítems se formularon siguiendo principios de claridad, precisión y relevancia.

**Selección de escala de medición.** Se optó por una escala Likert de cuatro puntos (1=Totalmente en desacuerdo, 2=En desacuerdo, 3=De acuerdo, 4=Totalmente de acuerdo) para medir el nivel de implementación de cada variable de innovación. La decisión de utilizar cuatro niveles, eliminando la opción neutral, buscó forzar un posicionamiento definido de los respondientes.

3.3.3.1 Estructura del instrumento

El instrumento final consistió en una encuesta estructurada dividida en dos secciones principales:

**Sección 1: Información socioeconómica**

Esta sección incluyó 12 preguntas diseñadas para caracterizar las fincas y sus propietarios:

- Datos de identificación (nombre, ubicación)
- Perfil del caficultor (edad, nivel educativo)
- Características de la finca (tamaño, variedades cultivadas, empleados)
- Aspectos productivos y comerciales (producción, costos, precios, canales de venta)
- Certificaciones implementadas
- Fuentes de capacitación y financiamiento

Esta información permite contextualizar los resultados y analizar posibles correlaciones entre características socioeconómicas y niveles de innovación.

**Sección 2: Variables de innovación**

Esta sección constituyó el núcleo del instrumento, con 55 ítems organizados según los siete factores de innovación identificados:

**Factor económico** (5 ítems): mide variables como rentabilidad, mantenimiento de registros, información de mercado y trazabilidad.

1. **Factor social** (6 ítems): evalúa aspectos como prácticas laborales, no discriminación, prohibición de trabajo infantil y libertad de asociación.
2. **Factor ambiental** (9 ítems): mide variables relacionadas con conservación de biodiversidad, manejo de plagas, conservación de suelos, gestión del agua y residuos.
3. **Factor de producción** (8 ítems): evalúa prácticas como selección de variedades, poda y renovación, manejo de agroquímicos y producción orgánica.
4. **Factor de conocimiento** (16 ítems): mide variables de capacitación e implementación de mejoras en temas como manejo de sustancias peligrosas, erosión del suelo, fertilizantes y estado del agua.
5. **Factor de tecnología** (5 ítems): evalúa la implementación de sistemas de monitoreo, eficiencia energética, digitalización y uso de aplicaciones.
6. **Factor de gestión del cambio** (5 ítems): mide aspectos como administración de recursos humanos, flexibilidad, documentación de procesos y sistemas de inspección interna.

### *3.3.4 Validación del instrumento*

Para asegurar la calidad y robustez del instrumento, se implementó un riguroso proceso de validación que incluyó:

**Validación por expertos.** Se conformó un panel de cinco expertos que cumplían cuatro requisitos: formación doctoral en áreas relevantes, experiencia en investigación sobre innovación y/o el sector agroindustrial, conocimiento del sector cafetero, y experticia en metodología de investigación. Los expertos evaluaron el instrumento considerando cuatro criterios fundamentales: claridad en la redacción y comprensibilidad de las preguntas, entendimiento del contenido verificando alineación con teorías de innovación, usabilidad evaluando la aplicación práctica de las variables, y factibilidad analizando el potencial para generar información diferenciada. Las evaluaciones se realizaron

mediante cuestionario con escala Likert de cuatro puntos (1=Totalmente en desacuerdo, 4=Totalmente de acuerdo), obteniendo resultados que mostraron valores ajustados a la realidad de cada finca. Estos resultados permitieron identificar áreas específicas que requerían mejora para optimizar los procesos de producción en las fincas cafeteras evaluadas.

A partir de esta validación se implementaron ajustes sustanciales al instrumento mediante cuatro tipos de intervenciones: reformulación de 10 preguntas para mejorar claridad y precisión, reorganización estructural completa para mayor coherencia lógica, adición de 13 nuevas preguntas para fortalecer la medición de variables críticas, y revisión exhaustiva de aspectos gramaticales y ortográficos. Estos ajustes integraron las recomendaciones expertas con la evidencia empírica, resultando un instrumento validado que asegura fortaleza en contenido y aplicabilidad práctica. El proceso de validación garantiza un instrumento metodológicamente robusto y contextualmente apropiado para las fincas cafeteras colombianas productoras de café especial.

**Prueba piloto.** Se realizó una aplicación preliminar del instrumento a 10 caficultores de la zona de estudio. Esta prueba permitió:

- Evaluar la comprensibilidad de las preguntas en el contexto local
- Identificar ítems problemáticos o ambiguos
- Estimar el tiempo de aplicación

Probar la logística de recolección de datos

La retroalimentación obtenida condujo a ajustes adicionales, particularmente en la extensión y estructura de algunas preguntas, y en la inclusión de más opciones en ítems sobre nivel educativo.

**Análisis de confiabilidad.** Luego de realizar una prueba piloto en 10 fincas cafeteras, se analiza la consistencia interna de la encuesta mediante por medio de Alfa de Cronbach. Como señala Taber (2018) este indicador mide el grado en que las respuestas se correlacionan entre sí, reflejando la coherencia interna del instrumento.

Mediante el software Rcommander para analizar los datos de la prueba piloto de la ejecución de la encuesta, se obtiene un valor del Alfa de Cronbach de 0,9768 lo que indica un alto grado de consistencia interna según los criterios establecidos por Shi et al., (2024) quienes consideran que valores por encima de 0,7 tienen un alto grado de confiabilidad.

### *3.3.5 Estrategia para la recolección y procesamiento de datos*

La implementación efectiva del diseño metodológico requiere una estrategia cuidadosamente planificada para la recolección, procesamiento y análisis de los datos.

3.3.5.1 Organización del trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó durante octubre de 2023, siguiendo un protocolo estructurado para maximizar la calidad de los datos recopilados. La preparación logística del trabajo de campo integró cuatro componentes: a) mapeo detallado de las fincas seleccionadas, b) planificación de rutas eficientes considerando la dispersión geográfica, c) coordinación previa con líderes comunitarios y organizaciones locales, y d) preparación de materiales y equipos necesarios.

Se conformó un equipo de encuestadores con conocimiento del sector cafetero y familiaridad regional, capacitación específica sobre el instrumento de investigación, y habilidades de comunicación apropiadas el sector rural. El protocolo de aplicación estableció cinco etapas: a) contacto inicial para concertar visitas, b) presentación del estudio, c) obtención de consentimiento informado, d) aplicación sistemática del instrumento y e) registro de observaciones y fotografías con autorización. Este protocolo aseguró una recolección estandarizada de información durante las visitas.

La supervisión y control de calidad se implementó mediante tres mecanismos complementarios: a) revisión diaria de encuestas completadas para detectar inconsistencias o datos faltantes, b) verificación aleatoria de encuestas mediante contacto posterior con caficultores participantes, y c) reuniones periódicas del equipo para compartir experiencias y resolver dificultades. Estos mecanismos garantizaron la confiabilidad de los datos recolectados y la aplicación del instrumento en todas las fincas. El control riguroso permite identificar y corregir

oportunamente errores de registro, asegurar la veracidad de la información y mantener coherencia metodológica.

3.3.5.2 Procesamiento de la información

Una vez recopilados los datos, se implementó un proceso sistemático para su organización y preparación para el análisis:

**Codificación y tabulación**

- Asignación de códigos numéricos a respuestas categóricas
- Creación de base de datos estructurada en formato compatible con software estadístico
- Verificación cruzada para minimizar errores de digitación
- Documentación detallada de codificaciones para facilitar interpretación posterior

**Tratamiento de datos faltantes**

Se estableció un protocolo para manejar valores faltantes:

- Para datos socioeconómicos: se intentó recuperar la información mediante contacto posterior
- Para variables de innovación: se aplicaron técnicas estadísticas apropiadas (imputación por la media cuando el porcentaje de datos faltantes era inferior al 5 %)

Transformación de variables

Algunas variables requirieron transformaciones para su adecuado análisis:

- Creación de variables compuestas para representar dimensiones específicas
- Recodificación de variables para análisis específicos
- Normalización de variables para comparabilidad

**Análisis preliminar**

Antes del análisis principal, se realizaron:

- Análisis descriptivos para caracterizar la muestra
- Identificación de valores atípicos y determinación de su tratamiento
- Verificación de supuestos para análisis estadísticos posteriores

### 3.4 Análisis estadístico y desarrollo del modelo

El análisis de datos combinó técnicas descriptivas y multivariadas que fueron analizadas mediante el software R-Commander. El análisis incluye estadísticas de tendencia central y dispersión para cada variable, mientras que el análisis bivariado empleó pruebas t, ANOVA y correlaciones para identificar asociaciones preliminares entre variables. Técnicas multivariadas como el análisis de agrupamiento jerárquico y mapas de calor permitieron identificar patrones entre fincas y visualizar relaciones entre variables.

El desarrollo del modelo de innovación fue por medio de regresión logística binaria, seleccionada por su idoneidad para modelar relaciones entre una variable dependiente binaria y variables independientes ordinales y continuas (Sperandei, 2014; Peng et al., 2002). Este método permite estimar la probabilidad de que una finca sea clasificada como innovadora en función de sus características, expresando los coeficientes como odds ratios que facilitan la interpretación práctica del impacto de cada variable.

La validación del modelo incluyó validación cruzada, análisis de curva ROC para determinar precisión, análisis de sensibilidad para estimar la importancia relativa de variables y verificación de supuestos estadísticos. El modelo final alcanzó un 97 % de precisión en la clasificación de fincas innovadoras, identificando tres variables críticas que determinan significativamente la probabilidad de innovación: gestión integral de residuos (X18), adopción tecnológica digital (X47) y flexibilidad ante el cambio (X51). Estos hallazgos estadísticos proporcionaron la base empírica para desarrollar el modelo de innovación que posteriormente se validaría mediante investigación-acción en contextos productivos en campo.

## 3.5 Aspectos éticos de la investigación

La investigación con los caficultores requiere de consideraciones éticas al momento de obtener la información por medio de encuestas, que debe ser informadas al momento de registrar la información.

### *3.5.1 Principios éticos fundamentales*

El diseño e implementación del estudio fue alineado por principios éticos fundamentales:

**Respeto a la autonomía.** Se reconoció el derecho de los caficultores a decidir libremente sobre su participación, proporcionando información clara sobre objetivos, alcances y procedimientos antes de solicitar su consentimiento.

**Beneficencia y no maleficencia.** El diseño de la investigación procuró maximizar beneficios potenciales (generación de conocimiento útil para el sector) y minimizar riesgos para los participantes.

**Justicia.** La selección aleatoria de los caficultores y el diseño del estudio, buscaron que la información fuera clara y concisa, y que el instrumento fuera sometido a pruebas piloto para ajustar las preguntas, para así tener claridad de lo requerido.

**Integridad científica.** Se alineó la investigación a altos estándares de rigurosidad y transparencia en todas las fases del estudio (Diseño, recolección de datos, análisis, transformación) para generar resultados acordes a la realidad de los caficultores colombianos.

### 3.5.2 Implementación de salvaguardas éticas

Estos principios se tradujeron en procedimientos concretos durante la implementación:

**Consentimiento informado**

- Desarrollo de un protocolo de consentimiento verbal claro y comprensible.

- Explicación detallada de objetivos, procedimientos, riesgos y beneficios potenciales.
- Garantía de voluntariedad y derecho a retirarse en cualquier momento.
- Verificación de comprensión antes de iniciar la recolección de datos.

Protección de privacidad y confidencialidad:

- Codificación de identificadores personales en bases de datos.
- Almacenamiento seguro de información en dispositivos protegidos con contraseña.
- Presentación de resultados solo de forma agregada, sin posibilidad de identificación individual.
- Destrucción de datos identificables tras la conclusión del análisis.

**Retribución a participantes**

- Ofrecimiento de compartir resultados de la investigación con los participantes.
- Compromiso de desarrollar materiales prácticos basados en hallazgos.
- Organización de talleres para socializar resultados y discutir implicaciones.

**Respeto a conocimientos y prácticas locales:**

- Valoración de saberes tradicionales de caficultores en el diseño del estudio.
- Incorporación de espacios para comentarios abiertos en el instrumento.
- Análisis respetuoso que reconoce la validez de diferentes aproximaciones a la innovación.

## 3.6 Limitaciones metodológicas

Reconocer las limitaciones de la metodología, de los procesos y del recurso humano es primordial para una interpretación real, para generar resultados confiables e identificar mejoras y oportunidades para que los hallazgos sean útiles para investigaciones futuras.

### *3.6.1 Limitaciones inherentes al diseño*

El diseño metodológico presenta algunas limitaciones inherentes que es importante reconocer:

**Naturaleza transversal del estudio.** La recopilación de los datos de investigación fue en octubre de 2023, lo que podría limitar capacidad innovadora en un mercado dinámicos entorno a la tecnología, el mercado y nuevos productos que se podrían haber desarrollado después de esta fecha.

**Enfoque predominantemente cuantitativo.** Teniendo en cuenta el enfoque planteado en la investigación, el énfasis cuantitativo puede no considerar los aspectos cualitativos y subjetivos de los procesos de innovación, las cuales pueden incluir temas culturales, informativos o sociales.

**Representatividad geográfica limitada.** Los resultados muestran la realidad específica de las veredas estudiadas en el municipio de Pitalito, Huila. Se seleccionó una muestra que es significativa del área de influencia del municipio seleccionado, la extrapolación de los resultados para otras regiones cafeteras debe realizarse mesuradamente.

**Relación correlacional vs. Causal.** El diseño permite identificar relaciones entre variables dependiente e independientes, pero su capacidad para establecer relaciones causales es limitada, porque no hay manipulación experimental de las variables.

## 3.7 Validación del modelo mediante investigación-acción

El diseño metodológico adiciona una tercera fase de validación práctica del modelo desarrollado, que está enfocada en los principios de investigación-

acción (McNiff, 2013). Este componente resultó importante para verificar la aplicabilidad del modelo, evaluando su utilidad en contextos productivos reales.

Asimismo, McNiff (2013) menciona que la teoría de investigación-acción se caracteriza por ciclos de diagnóstico, planificación, acción y evaluación, donde los investigadores y participantes colaboran para generar conocimiento aplicable y transformación práctica. Este enfoque es apropiado para validar modelos de innovación agrícola, pues permite ajustar las propuestas teóricas a las realidades específicas de los contextos productivos.

**Proceso de validación aplicada.** La fase de investigación-acción se implementa mediante la aplicación del modelo en fincas cafeteras con diferentes características productivas y niveles de desarrollo. Este proceso sigue un ciclo acorde a lo siguiente:

- Diagnóstico inicial: Evaluación del estado actual de cada finca respecto a las variables significativas identificadas en el modelo (gestión integral de residuos – X18, adopción tecnológica digital – X47 y flexibilidad ante el cambio – X51).
- Planificación participativa: Diseño colaborativo de planes adaptados a las condiciones específicas de cada finca, priorizando las variables con mayor impacto predictivo según el modelo.
- Implementación de intervenciones: Aplicación práctica de las recomendaciones del modelo, con acompañamiento técnico y documentación del proceso.
- Evaluación de resultados: Medición de cambios en indicadores productivos, de calidad y sostenibilidad, comparando el estado previo y posterior a la implementación.

**Criterios de selección de casos**

Los casos se seleccionaron para representar diversidad en: a) tamaño de finca, b) nivel de desarrollo tecnológico inicial, c) acceso a mercados especializados, y d) disposición de recursos. Esta diversidad permitió validar la adaptabilidad del

modelo a diferentes escenarios productivos, identificando elementos aplicables y ajustes necesarios según condiciones específicas.

**Integración con fases previas.** Esta fase de investigación-acción complementó las fases previas de diagnóstico cuantitativo y modelado estadístico, cerrando el ciclo metodológico con validación práctica. Los resultados de la aplicación (Capítulo 7), confirmaron la utilidad del modelo para orientar procesos de transformación productiva dirigida a café especial de tipo sostenible e identificaron oportunidades para adaptación de procesos.

## Conclusiones

Este estudio analiza cómo innovan las fincas cafeteras usando números y estadísticas para encontrar variables significativas, con el fin de crear modelos que ayuden a predecir resultados buscando crear café diferenciado. Se realizó el análisis de correlaciones con componentes experimentales para identificar cómo se relacionan las variables de innovación con la producción de café especial sostenible. Los resultados obtenidos se podrían extender a fincas cafeteras localizadas en otras regiones.

El cuestionario integró los conceptos del Manual de Oslo con los factores en común de cinco certificaciones de café sostenible. La encuesta final presentó 55 preguntas diseminadas en siete grupos, y demostró ser bastante confiable según las pruebas estadísticas ($\alpha$=0,9768), además de que expertos en el tema la revisaron y dieron su visto bueno. Se desarrolló en el estudio, la conversión de ideas teóricas sobre innovación en un modelo de innovación que puede ser medido y aplicado, creando así un protocolo que otros investigadores pueden usar como base teórica para otros estudios del sector agrícola.

Escoger el municipio de Pitalito para hacer el estudio y la forma de la selección de la muestra garantizaron que lo que encontráramos fuera representativo y se pudiera aplicar al contexto que estudiamos. La muestra aleatoria de 66 fincas, que son el 31 % del total de fincas objetivos, dio una base estadística sólida para poder generalizar los resultados. Describir bien la zona de estudio y tener en cuenta su importancia para la producción cafetera del país les dio más peso a los resultados conseguidos.

Usar la regresión logística como método estadístico principal fue una buena elección que nos permitió modelar bien la probabilidad de innovación como una variable de si o no. Este método funcionó mejor porque se pudo trabajar con variables ordinales, generar interpretaciones claras en términos de probabilidades, y crear un modelo predictivo de alta confiabilidad (AUC = 0.97). Además, usar otras técnicas como análisis de agrupamiento, correlación y ANOVA ayudó a entender mejor los patrones de innovación.

Capítulo

# 4

# Factores de diferenciación en el café especial sostenible

La producción de café especial sostenible abre una oportunidad importante para los caficultores colombianos, ya que permite entrar a mercados diferenciados y conseguir mejores precios. Para mejorar en este segmento se requiere identificar las variables críticas que determinan la calidad del producto y la sostenibilidad de los procesos del café.

Este capítulo examina los factores que tienen peso en la producción de café especial sostenible en Colombia. Con el análisis de las principales certificaciones de café sostenible y su relación con el Manual de Oslo, se identifican las variables de innovación que pueden transformar los procesos de producción de café convencional, con la finalidad de entregar un producto de mejor calidad.

**Definición y caracterización de variables.** Una variable puede entenderse como un atributo o característica específica que, al ser modificada o gestionada adecuadamente, influye significativamente en la calidad final del producto y en la sostenibilidad del proceso de producción.

Estas variables no operan de manera aislada, sino que conforman un sistema interconectado donde los cambios en una dimensión pueden afectar a las demás. Como señala Preet (2013), en investigación las variables independientes son antecedentes mientras que la variable dependiente es la consecuencia, estableciendo relaciones causales que permiten predecir resultados y optimizar procesos.

## 4.1 Factores de innovación en el café especial sostenible

La investigación ha identificado siete factores fundamentales que agrupan las variables críticas para la producción de café especial sostenible, basados en las principales certificaciones internacionales como Rainforest Alliance, Fairtrade, Código de conducta 4C, prácticas de Starbucks y certificados orgánicos IFOAM.

### *4.1.1 Factor económico (F1)*

El factor económico constituye uno de los pilares fundamentales para la sostenibilidad de las fincas cafeteras. Este factor se centra en garantizar la viabilidad financiera a largo plazo de las operaciones y comprende las siguientes variables clave:

- **Rentabilidad y productividad a largo plazo:** implementación de prácticas que mantienen o aumentan la rentabilidad y productividad de forma sostenible.
- **Mantenimiento de registros:** control sistemático de costos e ingresos para monitorear la rentabilidad del cultivo.
- **Información de mercado y comercio:** conocimiento actualizado sobre requisitos de calidad y precios del mercado.
- **Trazabilidad:** identificación, segregación y protección del café para evitar mezclas con otras fuentes.

La relevancia de estas variables se evidencia en que las fincas productoras de café especial muestran un valor medio de 3,7 en la implementación de variables económicas, frente a 3,2 en fincas de café convencional, según los datos recopilados en campo.

### *4.1.2 Factor social (F2)*

El componente social en la producción de café especial involucra la protección de derechos y condiciones laborales justas. Las variables que lo constituyen son:

- **No discriminación:** prácticas de contratación transparentes y objetivas.
- **Ausencia de trabajo forzoso:** garantía de condiciones laborales dignas y voluntarias.
- **Protección infantil:** prevención del trabajo de menores en la producción.
- **Libertad de asociación:** respeto al derecho de organización y negociación colectiva.
- **Condiciones de empleo adecuadas:** remuneraciones justas y proporcionales al trabajo realizado.

Tanto las fincas de café especial como las convencionales muestran altos valores en este factor (3,8 y 3,5 respectivamente), lo que refleja un compromiso generalizado con las condiciones sociales en el sector cafetero colombiano.

### *4.1.3 Factor ambiental (F3)*

La dimensión ambiental representa uno de los aspectos más diferenciadores entre las fincas de café especial y convencional, con una media de implementación de 3,7 frente a 3,0 respectivamente. Las variables críticas incluyen:

- **Conservación de la biodiversidad:** medidas para proteger flora y fauna nativas.
- **Manejo integrado de plagas:** reducción del uso de plaguicidas mediante sistemas integrados.
- **Conservación de suelos:** protección contra la erosión mediante técnicas adecuadas.
- **Gestión de materia orgánica:** reciclaje de desechos orgánicos como fuente de nutrientes.
- **Gestión del agua:** conservación y uso eficiente de fuentes hídricas.
- **Tratamiento de aguas residuales:** manejo adecuado para evitar contaminación.

- **Gestión integral de residuos:** identificación y manejo seguro de desechos.
- **Adaptación al cambio climático:** implementación de medidas para enfrentar variaciones climáticas.

**Dato relevante:** La variable X18 (gestión integral de residuos) mostró una de las correlaciones más fuertes con la probabilidad de innovación en fincas cafeteras, destacándose como un factor crítico en la producción de café especial sostenible.

### *4.1.4 Factor de producción (F4)*

Las prácticas en los procesos de producción del café especial son fundamentales para mejorar la calidad del producto. En este factor se considera variables como:

- **Selección adecuada de variedades:** elección basada en calidad, resistencia y adaptabilidad.
- **Poda y renovación:** mantenimiento acorde a las necesidades del cultivo.
- **Uso de cultivos no modificados genéticamente:** preservación de variedades naturales.
- **Manejo responsable de agroquímicos:** uso controlado y de proveedores autorizados.
- **Comunicación de requisitos:** explicación clara de normas ambientales y laborales.
- **Evaluación de** áreas **de conservación:** análisis previo a la siembra para proteger zonas sensibles.
- **Producción orgánica:** uso de semillas y materiales de siembra orgánicos cuando están disponibles.

### 4.1.5 Factor de conocimiento (F5)

El conocimiento marca una diferencia muy importante entre fincas con producción de café especial (media de 3,7) y fincas con producción de café normal (media de 3,0). Las variables principales asociadas son:

- **Capacitación sobre sustancias peligrosas:** formación en riesgos y manejo adecuado.
- **Capacitación sobre erosión del suelo:** formación en prácticas para reducir y prevenir la erosión.
- **Capacitación sobre manejo de fertilizantes:** formación en uso apropiado.
- **Capacitación sobre uso sostenible del agua:** formación en medidas de eficiencia hídrica.
- **Capacitación sobre aguas residuales:** formación en gestión y prevención de riesgos.
- **Capacitación en uso de EPP:** formación en equipos de protección personal.
- **Capacitación en uso de herramientas y maquinaria:** formación en manejo seguro.
- **Capacitación en primeros auxilios:** formación en respuesta ante emergencias.

### *4.1.6 Factor tecnológico (F6)*

La tecnología representa uno de los factores con mayor diferencia entre fincas de café especial (media de 2,6) y convencional (media de 1,5). Las variables más relevantes son:

- **Sistemas de manejo y monitoreo:** implementación de programas de control y seguimiento productivo.
- **Gestión energética:** adopción de medidas para el ahorro y uso eficiente de energía.
- **Adopción digital:** digitalización de documentación y procesos para mejorar la eficiencia.
- **Uso de plataformas especializadas:** aplicaciones para planificación, adaptación y certificación.

**Dato relevante:** La variable X47 (adopción digital) mostró una correlación fuerte con la probabilidad de innovación, siendo identificada mediante análisis estadístico como una de las tres variables críticas para la producción de café especial sostenible.

### 4.1.7 Factor de gestión del cambio (F7)

Este factor muestra la mayor brecha entre fincas de café especial (media de 3,1) y convencional (media de 1,5). Sus variables clave son:

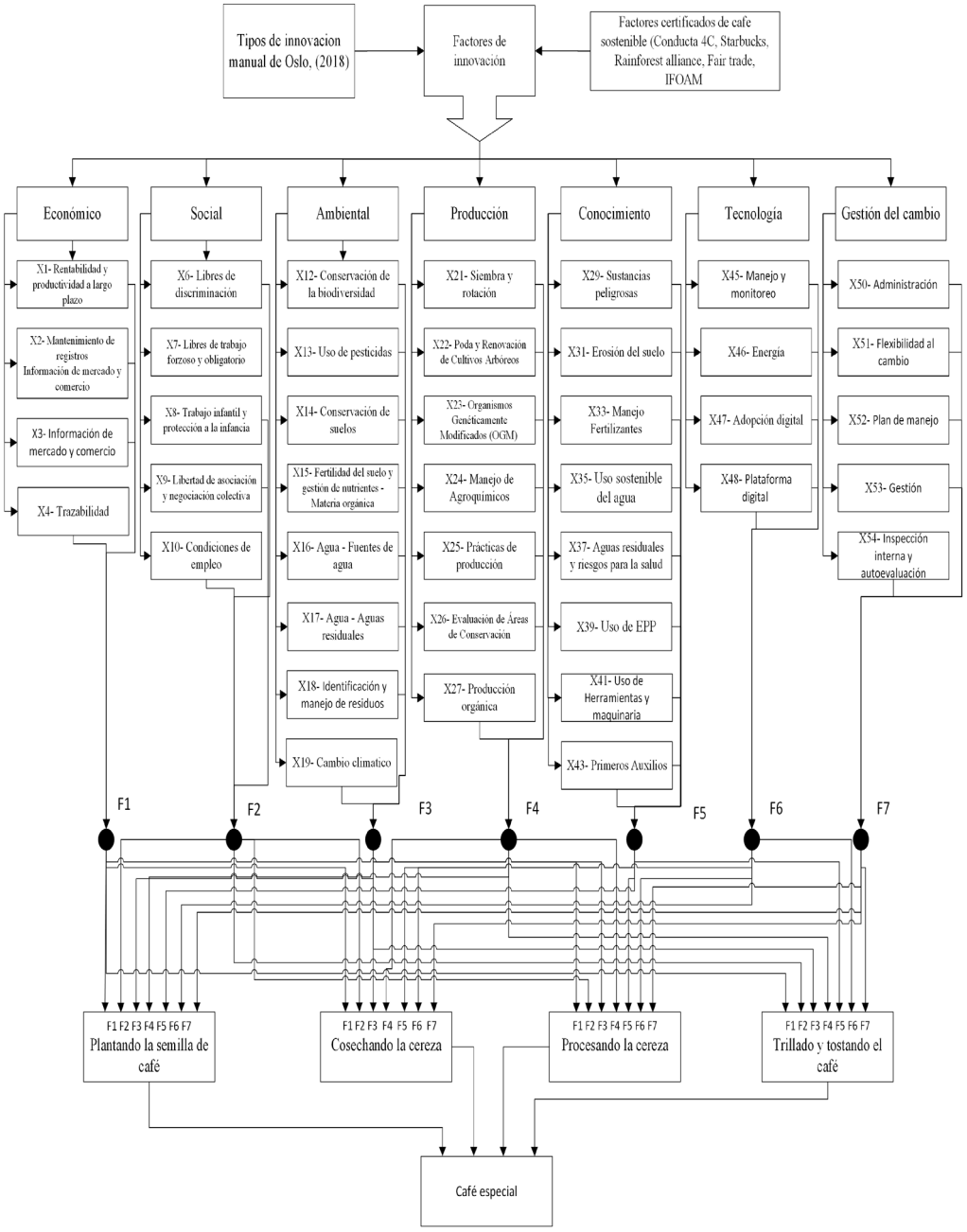
- **Administración del recurso humano:** mantenimiento de información actualizada sobre trabajadores.
- **Flexibilidad ante el cambio:** disposición y capacidad para adaptarse a modificaciones en procesos y procedimientos.
- **Plan de apalancamiento de recursos:** provisión de servicios y capacitación para mejorar procesos.
- **Gestión de procesos integrados:** transparencia en operaciones, políticas y registros.
- **Inspección interna y autoevaluación:** sistema para evaluar periódicamente el cumplimiento de estándares.

La variable X51 (flexibilidad ante el cambio) presento una correlación alta con la probabilidad de innovación, considerando las demás variables estudiadas.

## 4.2 Interrelación entre factores y variables de innovación

Los siete factores que identificadas no funcionan por separado, sino que forman un sistema donde las relaciones entre variables definen el éxito en la producción de café especial sostenible. La Figura 4 muestra estos nexos, dejando ver cómo cada factor influye en las distintas etapas del proceso de producción del café especial.

**Figura 4.** *Descripción del impacto de los factores y variables de innovación*




**Nota.** Elaboración propia.

En este contexto, la tabla 1 ofrece un desglose detallado de las variables presentes en el café sostenible, vinculándolas con los tipos de innovación según el Manual de Oslo (2018). Esta clasificación permite entender cómo cada variable contribuye a diferentes tipos de innovación en los procesos del negocio (IPN), particularmente en las categorías de administración y gerencia, así como en información y sistemas de comunicación.

Para facilitar la comprensión de la clasificación de variables, es importante aclarar que la nomenclatura utilizada se basa en el Manual de Oslo (2018), donde IPN significa "Innovación en los Procesos del Negocio", seguido de las categorías funcionales: AG (Administración y Gerencia) con subcategorías DEGN (Dirección Estratégica y Gerencia del Negocio) y GC (Gobierno Corporativo), y SIC (Sistemas de Información y Comunicación) con subcategoría HS (Hardware y Software). Por ejemplo, IPNAGDEGN indica una innovación en procesos del negocio, específicamente en administración y gerencia, enfocada en dirección estratégica. Esta codificación permite vincular sistemáticamente cada factor de innovación con las categorías establecidas en el marco teórico.

**Tabla 1.** *Desglose de las variables presentes en el café sostenible*

| Variable | Tipo de innovación | Categorías funcionales | Subcategorías |
|---|---|---|---|
| F1, Económico - IPNAGDEGN | Innovación en los Procesos del Negocio | Administración y Gerencia | Dirección Estratégica y General del Negocio |
| F2, Social - IPNAGGC | Innovación en los Procesos del negocio | Administración y Gerencia | Gobierno corporativo |
| F3, Ambiental - IPNAGDEGN | Innovación en los Procesos del Negocio | Administración y Gerencia | Dirección Estratégica y General del Negocio |
| F4, Producción - IPNAGDEGN | Innovación en los Procesos del Negocio | Administración y Gerencia | Dirección Estratégica y General del Negocio |
| F5, Conocimiento - IPNAGDEGN | Innovación en los Procesos del Negocio | Administración y Gerencia | Dirección Estratégica y General del Negocio |
| F6, Tecnología - IPNISCHS | Innovación en los Procesos del Negocio | Información y Sistemas de Comunicación | Hardware y Software |
| F7, Gestión del cambio - IPNAGGC | Innovación en los Procesos del Negocio | Administración y Gerencia | Gobierno corporativo |

**Nota.** Elaboración propia con base en Fairtrade (2019); Rainforest alliance (2023); Starbucks (2016); Código de conducta 4C (2018); IFOAM (2019); Modelo de Oslo (2018).

## 4.3 Integración con certificaciones sostenibles

Las variables identificadas están alineadas con los requisitos de las principales certificaciones internacionales de café sostenible: Rainforest Alliance, Fairtrade, Código de conducta 4C, prácticas de Starbucks y certificados orgánicos IFOAM.

La tabla 2 evidencia un hallazgo importante relacionado con la convergencia entre las cinco certificaciones internacionales en seis de los siete factores de innovación (social, ambiental, producción, conocimiento, tecnología y gestión del cambio). Solo el factor económico presenta variación, ausente únicamente en IFOAM. Esta convergencia demuestra un consenso internacional sobre los elementos esenciales para la producción de café sostenible, lo que valida que el modelo de innovación propuesto en esta investigación sea aplicable independientemente de la certificación específica que una finca cafetera decida adoptar.

**Tabla 2.** *Factores de innovación en las que se establecen las certificaciones de café sostenible*

| Factores | Código de conducta 4C | Comercio Justo – Fair Trade | Orgánico - IFOAM | Rainforest alliance | Prácticas C.A.F.E de Starbucks |
|---|---|---|---|---|---|
| Económico – F1 | Si | Si | No | Si | Si |
| Social – F2 | Si | Si | Si | Si | Si |
| Ambiental – F3 | Si | Si | Si | Si | Si |
| Producción – F4 | Si | Si | Si | Si | Si |
| Conocimiento – F5 | Si | Si | Si | Si | Si |
| Tecnología – F6 | Si | Si | Si | Si | Si |
| Gestión del cambio – F7 | Si | Si | Si | Si | Si |

**Nota.** Elaboración propia con información de los requisitos de Fairtrade, (2019); Rainforest alliance (2023); Starbucks (2016); Código de conducta 4C (2018); IFOAM (2019).

## 4.4 Análisis estadístico de variables de innovación

Para explorar cuáles variables de innovación podrían tener mayor importancia para marcar diferenciación entre fincas, se realiza un análisis estadístico preliminar que incluye ANOVA, correlación y técnicas multivariadas.

Los resultados detallados de este análisis estadístico, integrados con la caracterización completa de las fincas estudiadas (ubicación, condiciones ambientales, perfil de caficultores, resultados económicos), se presentan en el Capítulo 6, donde se desarrolla el modelo de innovación por medio de regresión logística.

### *4.4.1 Análisis de varianza (ANOVA)*

Se realizó un análisis ANOVA para identificar qué variables presentaban diferencias estadísticamente significativas entre fincas productores de café especial versus fincas que producen café normal. Los resultados mostraron que las tres variables críticas identificadas presentaron los valores más altos de significancia estadística:

X18 (Gestión integral de residuos): $F = 19{,}451$, $p < 0{,}001$

X47 (Adopción digital): $F = 15.16$, $p < 0{,}001$

X51 (Flexibilidad ante el cambio): $F = 19{,}758$, $p < 0{,}001$

Estos valores p menores a 0,001 indican diferencias significativas entre los grupos, sugiriendo que estas variables podrían ser factores clave de diferenciación. El análisis completo, que incluye los resultados de las 54 variables evaluadas, el proceso de selección iterativa y las validaciones estadísticas, se presenta en la Sección 6.5.1.

### *4.4.2 Análisis de correlación*

Se realiza un análisis correlacional preliminar para explorar las relaciones entre las variables de innovación y la probabilidad de producir café especial. Los resultados indicaron que las tres variables identificadas mediante ANOVA

(X18, X47, X51) presentan coeficientes de correlación positiva moderada-alta con la variable dependiente.

El análisis correlacional completo, incluyendo métodos de emparejamiento (Pairs), matrices de correlación, mapas de calor (Heatmap) y la evaluación de las 54 variables, se presenta de manera detallada en la Sección 6.3 del Capítulo 6.

### *4.4.3 Análisis multivariado*

El análisis de agrupamiento confirmo que estas tres variables tienen un valor significativo y determinan si los procesos de producción que tienen las fincas pueden producir café especial o convencional, con un factor precisión superior al 90 %. Este resultado preliminar valida la importancia de estas variables para diferenciar entre ambos tipos de fincas. El análisis multivariado completo, incluyendo dendrogramas y validaciones de clústeres, se presenta en las Secciones 6.2 y 6.7.

## Conclusiones

Este capítulo ha establecido el marco de factores de diferenciación para la producción de café especial sostenible en Colombia. A partir del análisis de certificaciones internacionales (Rainforest Alliance, Fairtrade, Código 4C, Starbucks e IFOAM) y del Manual de Oslo, se identificaron siete factores que agrupan 54 variables de innovación: económico, social, ambiental, de producción, de conocimiento, tecnológico y de gestión del cambio. La caracterización detallada de cada factor demuestra que la diferenciación en caficultura sostenible abarca dimensiones múltiples más allá de lo tecnológico, constituyendo un aporte conceptual al campo de estudios de innovación agrícola.

El análisis de interrelaciones entre factores evidencia que estos no operan de manera aislada, sino que son complementarios, con una sinergia determinante para el éxito de las iniciativas de innovación sostenible. La integración del marco con certificaciones sostenibles proporciona un puente entre teoría de innovación y práctica de sostenibilidad en caficultura, demostrando que las certificaciones funcionan como marcos operativos que guían procesos de innovación.

El análisis estadístico preliminar identificó tres variables que muestran diferencias estadísticamente significativas: gestión integral de residuos - X18, adopción de tecnología digital - X47, y flexibilidad ante el cambio - X51. Particularmente, que la gestión integral de residuos sea un requisito obligatorio en todas las certificaciones analizadas y simultáneamente muestre la diferencia estadística más alta, sugiere una convergencia entre estándares globales de sostenibilidad y realidad local de las fincas cafeteras. Estas tres variables de innovación, provenientes de los factores ambiental, tecnológico y de gestión del cambio respectivamente, sobresalen como elementos diferenciadores.

Para establecer cuáles son las variables reales de innovación y sus implicaciones prácticas, se debe complementar este análisis estadístico con información completa de las fincas: su ubicación y condiciones ambientales, estructura productiva, perfil de los caficultores, resultados económicos, y clasificación según su nivel de innovación. Este análisis completo se desarrolla en el Capítulo 5, donde se confirman estos resultados y se establecen conclusiones definitivas sobre los factores diferenciales.

Capítulo

# 5

# Caracterización de fincas cafeteras innovadoras

Caracterizar las fincas cafeteras con procesos de innovación es un paso clave para entender qué factores definen la posibilidad de producir café especial sostenible. En este capítulo, exploramos las buenas prácticas de las fincas que han decidido implementar prácticas de innovación, revisando detalles de procesos, sociales y ambientales de los caficultores y su entorno.

Las fincas cafeteras son el lugar donde se juntan la tradición y la innovación, y analizarlas con detalle permite identificar los elementos que facilitan el paso para la producción de una manera más sostenible y rentable. Con una metodología rigurosa y sistemática, esta caracterización establece las bases para construir un modelo de innovación que se pueda aplicar al contexto colombiano.

## 5.1 Marco contextual de las fincas estudiadas

### *5.1.1 Ubicación geográfica y relevancia*

El estudio se centra en el municipio de Pitalito, Huila, reconocido como el mayor productor de café en Colombia. Este municipio aporta el 3,2 % de la producción nacional y el 15,1 % del departamento del Huila, según datos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2023). La relevancia de Pitalito en el contexto cafetero nacional se atribuye a la implementación de nuevos métodos en las cosechas y en el procesamiento del café, como señala la

Agencia UNAL (2022).

Las veredas seleccionadas, Guacacallos y Acacos, representan microrregiones con una importante concentración de fincas cafeteras y constituyen un ecosistema productivo diverso donde coexisten productores tradicionales y aquellos orientados hacia la innovación. Su selección responde a criterios de representatividad, accesibilidad para la investigación y la presencia de diferentes niveles de adopción de prácticas innovadoras.

### *5.1.2 Características agroecológicas*

La región presenta condiciones agroecológicas privilegiadas para el cultivo del café, con altitudes que oscilan entre los 1.200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar, temperaturas medias entre 18 °C y 22 °C, y precipitaciones anuales de 1.500 a 2.000 mm bien distribuidas a lo largo del año. Estos factores, sumados a suelos de origen volcánico con buena estructura y drenaje, crean un entorno propicio para la producción de café de alta calidad.

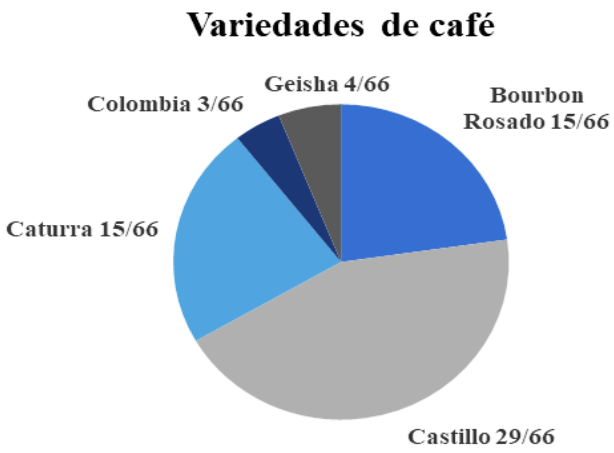
Las condiciones edafoclimáticas de la zona permiten el desarrollo de perfiles de taza distintivos, caracterizados por notas dulces, cítricas y con acentos frutales que son altamente valorados en el mercado de cafés especiales. Estas características naturales representan un activo fundamental que, combinado con prácticas innovadoras, potencia la producción de café diferenciado.

## 5.2 Perfil de las variedades de las fincas estudiadas

### *5.2.1 Distribución de variedades de café*

El análisis de las variedades cultivadas revela patrones significativos en la composición genética de las plantaciones cafeteras. Como se observa en la Figura 5., la variedad Castillo predomina en el 44 % de las fincas estudiadas (29 de 66), seguida por el Bourbon Rosado y el Caturra, cada uno presente en el 23 % de las fincas (15 de 66 en cada caso).

**Figura 5.** *Distribución de variedades de café en las fincas estudiadas*




**Nota.** Elaboración propia.

La variedad Castillo, desarrollada por Cenicafé, se destaca por su mayor resistencia a la roya y a enfermedades del café, además de producir una calidad de grano superior al 10 % del estándar, con excelente comportamiento en taza (FNC, 2020). Su predominancia refleja la búsqueda de resistencia a enfermedades sin sacrificar la calidad, un equilibrio crucial para la sostenibilidad de las fincas.

El Bourbon Rosado, aunque menos común, es particularmente valorado en las fincas orientadas a cafés especiales por su distintivo sabor dulce y sus cualidades organolépticas superiores (PDG, 2020). Por su parte, la variedad Caturra es apreciada por su adaptabilidad a terrenos de gran altitud y su notable rendimiento en términos de producción.

### *5.2.2 Relación entre variedades e innovación*

El análisis muestra una relación alta entre la selección de variedades del producto y los procesos de innovación implementados en las fincas cafeteras. Las fincas que producen café especial tienen más diversidad mejores variedades, y también cultivan variedades tradicionales y mejoradas. Esta estrategia ayuda a balancear los riesgos biológicos que se puedan encontrar mientras alcanzan perfiles de taza diferentes.

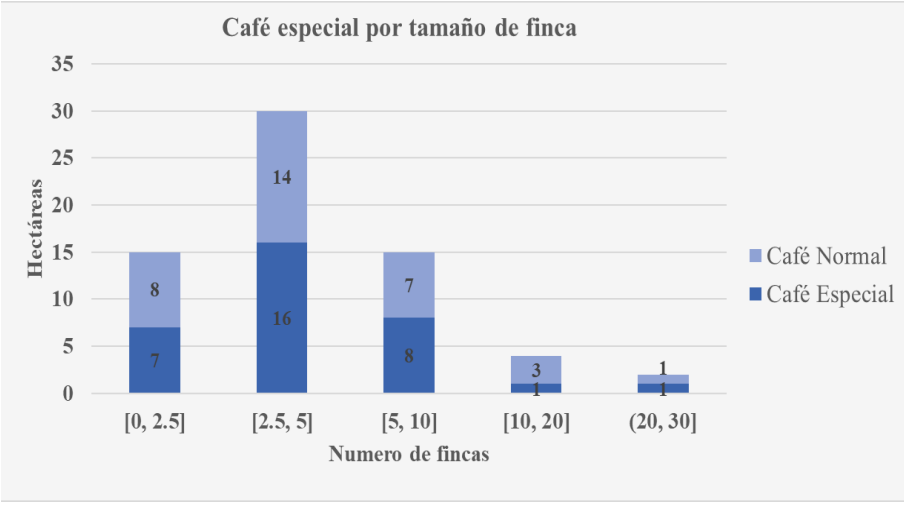
Se resalta que escoger la variedad correcta influye en la capacidad de producir café de alta calidad y diferenciado, el estudio también confirma que cualquier variedad puede producirse de forma sostenible si se aplican las prácticas innovadoras identificadas en el modelo de innovación. Este hallazgo enfatiza que innovar en los procesos puede ser tan decisivo como la genética para producir café especial.

## 5.3 Características estructurales de las fincas cafeteras

### *5.3.1 Distribución por tamaño*

El análisis muestra una variación en el tamaño de las fincas cafeteras de la investigación. La Figura 6. presenta la clasificación de las fincas en cinco grupos según su extensión de tierra, mostrando datos específicos sobre la producción de café especial en cada categoría (café especial o convencional).

**Figura 6.** *Producción de café especial según el tamaño de las fincas*




**Nota.** Elaboración propia.

Los datos revelan que:

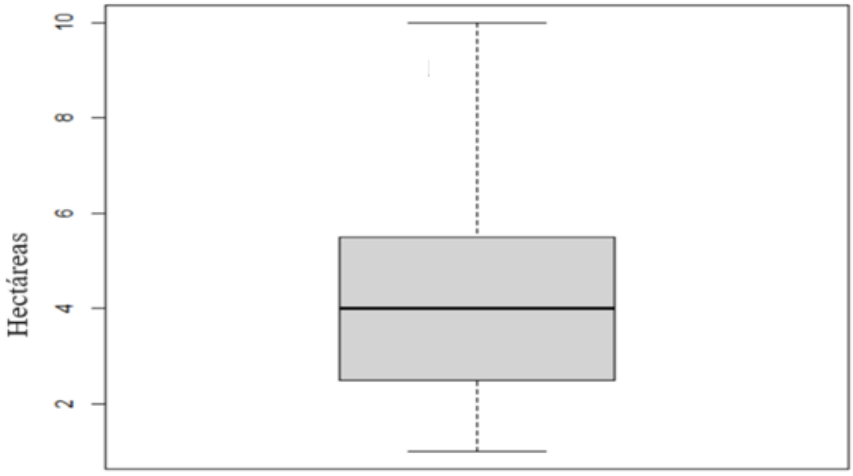
- En el primer grupo (0-2.5 hectáreas), el 47 % de las fincas (7 de 15) produce café especial.

- En el segundo grupo (2.5-5 hectáreas), el 53 % (16 de 30) se orienta hacia cafés especiales.
- En el tercer grupo (5-10 hectáreas), el 53 % (8 de 15) produce café diferenciado.
- En el cuarto grupo (10-20 hectáreas), solo el 25 % (1 de 4) genera café especial.
- En el quinto grupo (más de 20 hectáreas), el 50 % (1 de 2) produce café especial.

La mayor concentración de fincas productoras de café especial se encuentra en el rango de 2 a 10 hectáreas (grupos 2 y 3). Estas fincas de tamaño medio parecen alcanzar un equilibrio óptimo entre escala y capacidad de gestión para implementar prácticas innovadoras.

La figura 7 complementa este análisis, mostrando la distribución general de las extensiones de las fincas, con una concentración mayoritaria entre 2.5 y 6 hectáreas y una media de 4 hectáreas.

**Figura 7.** *Distribución de la extensión de las fincas cafeteras (hectáreas)*




**Nota.** Elaboración propia.

### *5.3.2 Infraestructura y equipamiento*

El nivel de desarrollo de infraestructura presenta diferencias notables entre las fincas innovadoras y convencionales. Las fincas orientadas a la producción de café especial muestran mayor inversión en:

1. **Beneficiaderos tecnificados**: el 85 % de las fincas productoras de café especial cuenta con instalaciones de beneficio húmedo modernizadas, frente al 32 % en fincas convencionales.
2. **Sistemas de secado**: las fincas innovadoras han diversificado sus métodos de secado, combinando secadores solares (92 %), mecánicos (38 %) y tradicionales (100 %), lo que les permite mayor control sobre este proceso crítico.
3. **Almacenamiento**: el 76 % de las fincas productoras de café especial ha establecido áreas específicas para el almacenamiento del café, con control de humedad y temperatura, frente al 24% en fincas convencionales.
4. **Maquinaria y equipos**: se observa mayor adopción de despulpadoras ecológicas (73 % vs 28 %), sistemas de recirculación de agua (65 % vs 12 %) y equipos para medición de variables como humedad del grano (62 % vs 15 %).

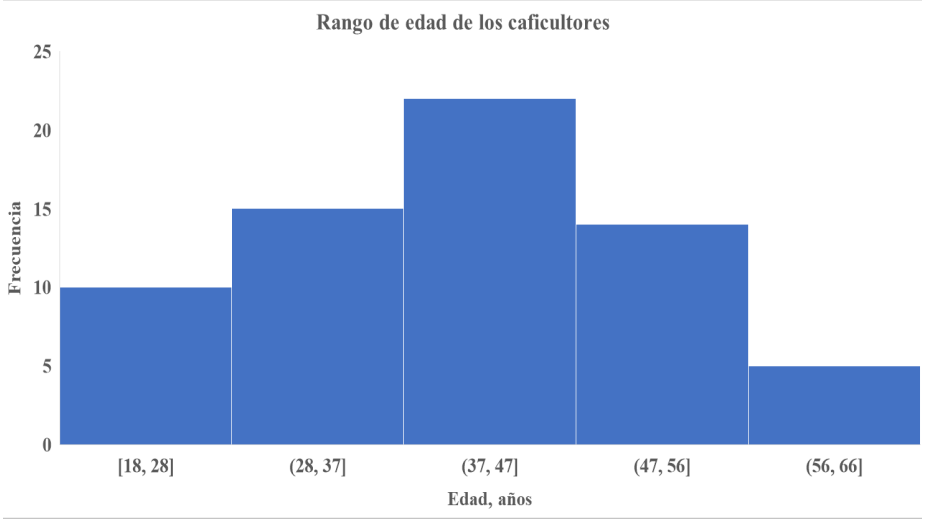
Esta diferenciación en infraestructura refleja un círculo virtuoso donde la innovación genera mayores ingresos que, a su vez, permiten reinversión en mejoras estructurales que potencian la calidad.

## 5.4 Perfil socioeconómico de los caficultores

### *5.4.1 Distribución etaria y su relación con la innovación*

El análisis demográfico de los caficultores revela patrones significativos en la relación entre edad e innovación. Como se muestra en la Figura 8., la distribución por rangos etarios muestra una concentración en el grupo de 37 a 47 años (19 caficultores), seguido por los rangos de 28 a 37 años (14 caficultores) y 47 a 56 años (15 caficultores).

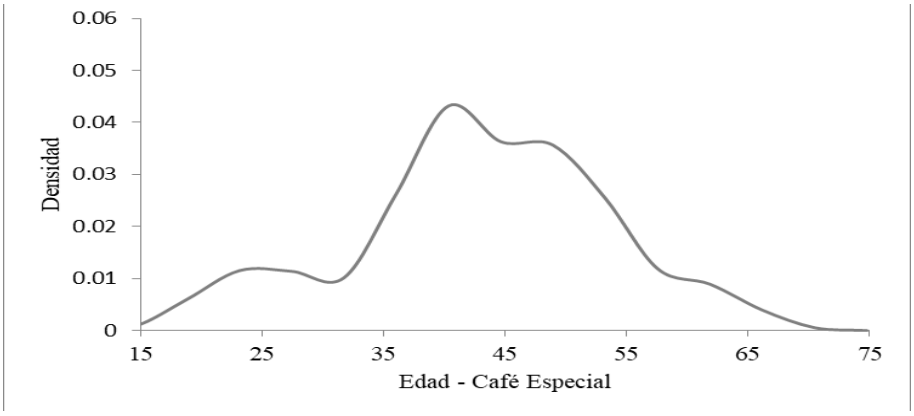
**Figura 8.** *Distribución por rangos de edad de los caficultores*




**Nota.** Elaboración propia.

Al examinar la relación entre edad y producción de café especial (Figura 9.), se observa que los caficultores entre 40 y 44 años muestran una mayor inclinación hacia prácticas innovadoras, siendo los 40 años la edad con mayor proporción de productores de café especial. Este grupo parece combinar de manera óptima experiencia y apertura a nuevas prácticas.

**Figura 9.** *Edad en la que los caficultores tienen mayor tendencia de producir café especial*




**Nota.** Elaboración propia.

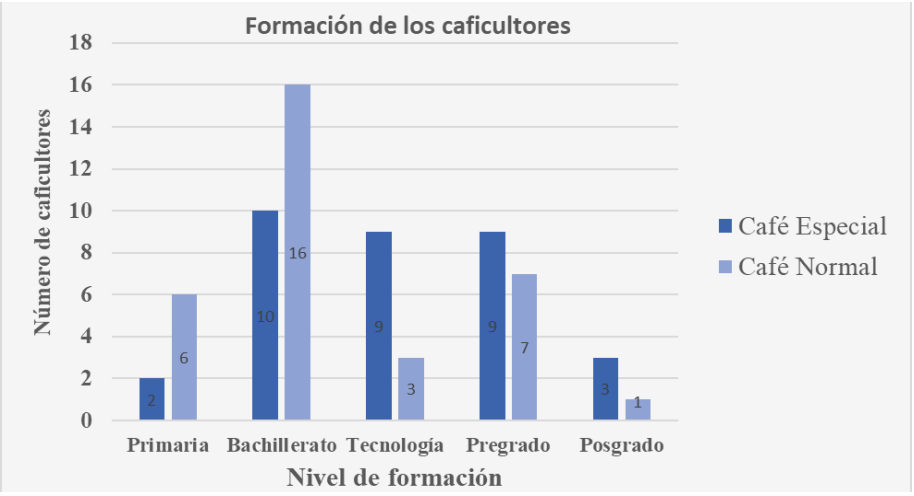
Resulta notable que los caficultores más jóvenes (18-31 años) muestran menor tendencia a producir café diferenciado, contrario a lo que podría esperarse. Este fenómeno podría relacionarse con limitaciones en acceso a recursos productivos, conocimiento especializado y redes comerciales establecidas, factores que se adquieren con la experiencia.

Por otro lado, los caficultores mayores de 53 años también exhiben menor preferencia a la innovación, posiblemente por una mayor resistencia al cambio de prácticas tradicionales y horizontes de planificación más cortos.

### *5.4.2 Nivel educativo y su impacto en la innovación*

El análisis revela una correlación positiva entre el nivel educativo y la propensión a adoptar prácticas innovadoras. Como se observa en la Figura 10., los caficultores con niveles de formación más avanzados muestran mayor tendencia a producir café especial.

**Figura 10.** *Nivel educativo de caficultores que tienen mayor disposición para producir café especial*




**Nota.** Elaboración propia.

Entre los caficultores con formación tecnológica, el 75 % (9 de 12) produce café especial. Esta proporción aumenta al 56 % (9 de 16) entre quienes tienen formación universitaria y alcanza el 75 % (3 de 4) en aquellos con estudios de

posgrado. En contraste, solo el 25 % (2 de 8) de los caficultores con educación primaria y el 38 % (10 de 26) con bachillerato se dedican a la producción de café especial. Esta correlación puede explicarse por varios factores:

1. **Acceso a información especializada**: la educación formal facilita el acceso y comprensión de información técnica sobre prácticas innovadoras.
2. **Capacidad de análisis**: mayores niveles educativos potencian la capacidad para evaluar riesgos y beneficios de la adopción de nuevas prácticas.
3. **Redes profesionales**: la educación superior suele ampliar las redes de contactos profesionales, facilitando el acceso a conocimiento especializado y oportunidades de mercado.
4. **Pensamiento prospectivo**: los niveles educativos superiores se asocian con una mayor orientación hacia planificación a largo plazo, compatible con inversiones en innovación.

### *5.4.3 Experiencia y tradición cafetera*

El análisis de la experiencia de los caficultores revela matices importantes en la relación entre tradición e innovación. Las fincas fueron clasificadas según la experiencia de los caficultores en tres categorías:

1. **Caficultores de primera generación (menos de 10 años de experiencia):** representan el 21 % de la muestra y muestran mayor apertura a innovaciones disruptivas, pero menor conocimiento de prácticas tradicionales valiosas.
2. **Caficultores de tradición media (10-25 años):** constituyen el 48 % y presentan el mejor equilibrio entre conocimiento tradicional e innovación, con la mayor tasa de adopción de prácticas sostenibles.
3. **Caficultores de tradición arraigada (más de 25 años):** representan el 31 % y poseen valioso conocimiento empírico, pero mayor resistencia a cambios sustanciales en prácticas establecidas.

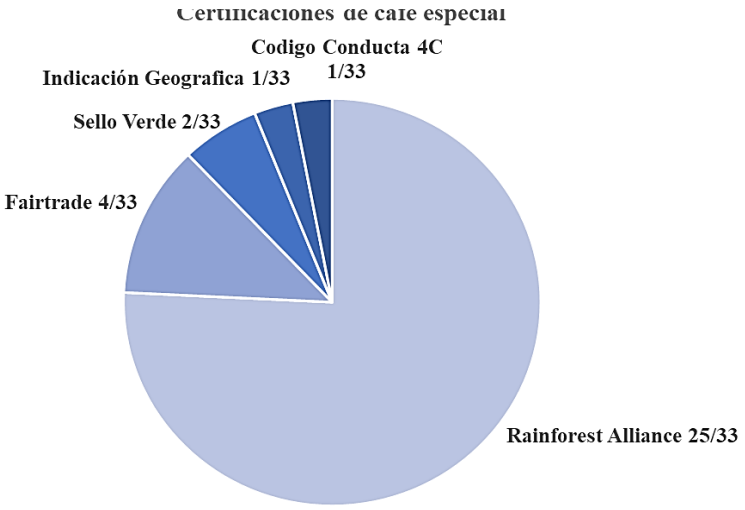
El estudio reveló que el 58 % de las fincas productoras de café especial son gestionadas por caficultores de tradición media, sugiriendo que esta categoría logra un balance óptimo entre la valoración del conocimiento tradicional y la apertura a nuevas prácticas.

## 5.5 Certificaciones sostenibles como marco de innovación

### *5.5.1 Distribución de certificaciones*

El análisis de las certificaciones adoptadas por los caficultores ofrece una perspectiva reveladora sobre los marcos formales que orientan la innovación. Como muestra la figura 11., entre los 33 caficultores dedicados a la producción de café especial, la certificación Rainforest Alliance predomina claramente (25 de 33 caficultores), seguida a distancia por Fairtrade (4 de 33).

**Figura 11.** *Distribución de certificaciones de café especial*




**Nota.** Elaboración propia.

Se identifica que la certificación Rainforest Alliance es la más implementada por las fincas cafeteras, que podría explicarse por estos aspectos:

1. **Enfoque integral**: esta certificación evalúa múltiples aspectos que incluyen factores como la conservación de la biodiversidad, prácticas agrícolas responsables y aspectos sociales.
2. **Reconocimiento en mercados clave**: Rainforest Alliance es ampliamente aceptada en mercados europeos y norteamericanos, facilitando el acceso a mercados premium.

3. **Estructura de apoyo**: en la región estudiada, existen redes de apoyo y capacitación en asociaciones y cooperativas que facilitan su implementación.
4. **Adaptabilidad**: los requisitos de la certificación son adaptables y fáciles de implementar a las de cualquier entorno, como por ejemplo en el área de injerencia del estudio desarrollado.

### *5.5.2 Certificaciones y su relación con prácticas innovadoras*

El análisis muestra una correlación alta entre la adopción de certificaciones y la implementación de prácticas innovadoras. Las fincas certificadas muestran mayor intención de implementar prácticas como:

1. **Prácticas ecológicas**: el 87 % de las fincas certificadas implementa prácticas como cultivos de cobertura, barreras vivas y diversificación del sombrío, frente al 23 % en fincas no certificadas.
2. **Gestión eficiente del agua**: el 92 % de las fincas certificadas ha adoptado sistemas de recirculación o tratamiento de aguas, comparado con el 18% en fincas convencionales.
3. **Manejo integrado de plagas**: el 76 % utiliza enfoques basados en prevención y control biológico, versus el 34 % en fincas no certificadas.
4. **Gestión de residuos**: El 83 % implementa sistemas integrales de manejo de residuos, frente al 27 % en fincas convencionales.

Las certificaciones funcionan como marcos orientadores que sistematizan y estructuran la innovación, transformando prácticas aisladas en sistemas integrales de gestión sostenible. Además, proporcionan incentivos económicos directos (precios premium) e indirectos (eficiencia en el uso de recursos) que favorecen la adopción de prácticas innovadoras.

## 5.6 Análisis económico comparativo

### *5.6.1 Costos y beneficios de la producción de café especial*

El análisis económico revela diferencias significativas entre la producción de café especial y convencional. Para una carga de 125 kg de café seco, el café especial certificado Rainforest Alliance muestra un precio promedio de venta

de COP 1.453.098, con un costo de producción de COP 931.250, generando un margen de ganancia del 36 %.

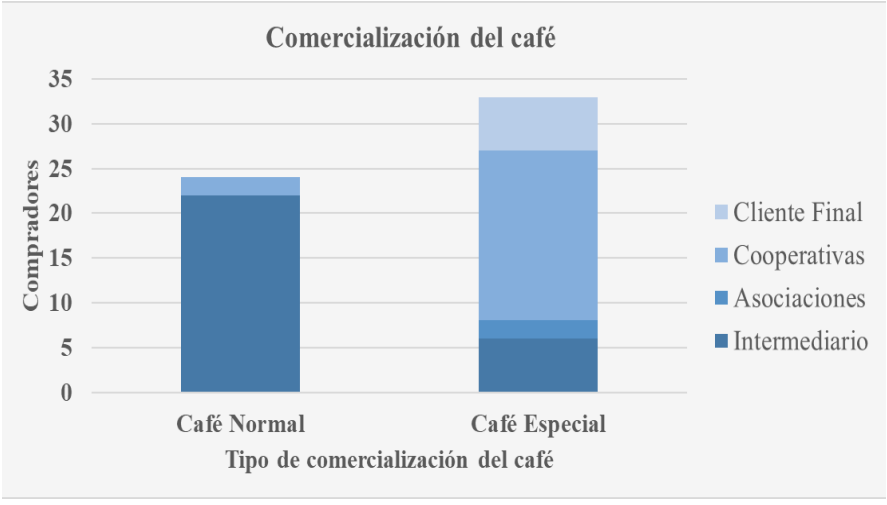
En contraste, el café convencional tiene un precio promedio de venta de COP 1.233.913, con un costo de producción de COP 919.565, resultando en un margen de ganancia del 25 %.

Esta diferencia del 11 % en el margen de ganancia (equivalente a aproximadamente COP 208.310 por carga) evidencia el beneficio económico tangible de implementar prácticas innovadoras para la producción de café especial certificado.

### *5.6.2 Canales de comercialización*

La figura 12 ilustra cómo los caficultores que implementan prácticas innovadoras acceden a canales de comercialización más diversos y rentables. Mientras que los productores de café convencional dependen principalmente de intermediarios y asociaciones, los productores de café especial logran establecer relaciones con cooperativas especializadas e incluso llegar directamente a clientes finales.

**Figura 12.** *Canales de comercialización para café convencional y especial*




**Nota.** Elaboración propia.

La diversificación de canales comerciales no solo representa mejores precios, sino mayor estabilidad frente a fluctuaciones del mercado y relaciones comerciales más directas y duraderas. Esta ventaja constituye un círculo virtuoso donde mejores canales comerciales incentivan mayor innovación, que a su vez fortalece el acceso a mercados diferenciados.

### *5.6.3 Retorno sobre la inversión en innovación*

El análisis de inversiones en prácticas innovadoras muestra un retorno altamente favorable. Los caficultores reportan que las inversiones necesarias para implementar la certificación Rainforest Alliance (aproximadamente COP 2.000.000) generan ingresos adicionales estimados en COP 12.498.600 en una finca promedio de 4 hectáreas con 15 cargas de producción anual.

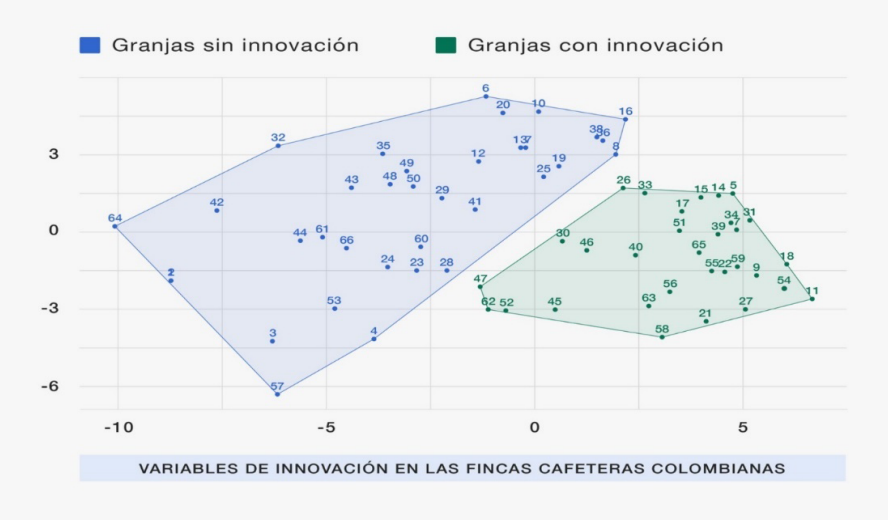
Este retorno sobre la inversión, superior al 100 % en un ciclo productivo, representa un poderoso incentivo económico para la adopción de prácticas innovadoras. Sin embargo, es importante considerar que los beneficios no son inmediatos y requieren un período de implementación y adaptación, aspecto que puede limitar la adopción entre productores con restricciones de capital o mayor aversión al riesgo.

## 5.7 Tipología de fincas según nivel de innovación

### *5.7.1 Clasificación jerárquica*

El análisis de agrupación jerárquica (figura 13) ilustra la diferenciación entre fincas según su nivel de innovación. Esta clasificación, basada en 54 variables de innovación, revela la formación de dos grupos claramente diferenciados: fincas con procesos innovadores (31 de 66) y fincas con procesos tradicionales (35 de 66).

**Figura 13.** *Análisis de agrupación de las fincas con producción de café normal y especial*



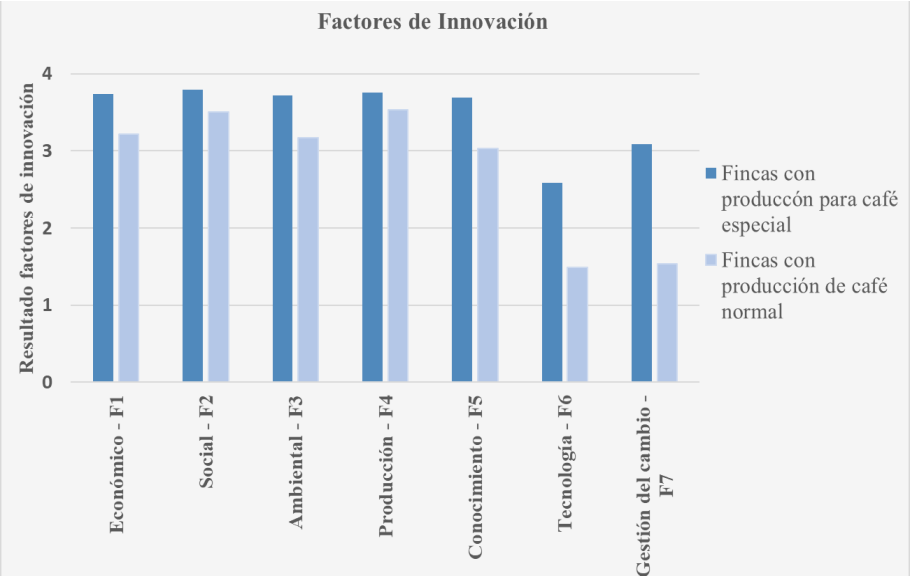

**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

Esta distribución confirma que la innovación no es un fenómeno aleatorio sino un conjunto sistemático de prácticas que tienden a presentarse de manera integrada, creando perfiles distintivos de fincas con producción de café convencional o especial.

### *5.7.2 Comparativa de factores de innovación*

El análisis comparativo de los siete factores de innovación (figura 14) revela patrones claramente diferenciados entre fincas innovadoras y tradicionales.

**Figura 14.** Comparación de factores de innovación entre fincas con producción de café normal y especial




**Nota.** Elaboración propia.

Las fincas productoras de café especial presentan valores superiores en todos los factores:

- Factor económico (F1): 3,7 vs 3,2
- Factor social (F2): 3,8 vs 3,5
- Factor ambiental (F3): 3,7 vs 3,0
- Factor de producción (F4): 3,8 vs 3,5
- Factor de conocimiento (F5): 3,7 vs 3,0
- Factor tecnológico (F6): 2,6 vs 1,5
- Factor gestión del cambio (F7): 3,1 vs 1,5

Las mayores brechas se observan en los factores tecnológico (F6) y gestión del cambio (F7), con diferencias de 1,1 y 1,6 puntos respectivamente. Esto sugiere

que estos factores constituyen áreas críticas de diferenciación entre fincas innovadoras y tradicionales.

### *5.7.3 Variables clave*

El análisis detallado de las variables específicas dentro de cada factor revela que las mayores diferencias entre fincas innovadoras y tradicionales se encuentran en:

- **Gestión de residuos (X18):** con una diferencia de 1,5 puntos, esta variable del factor ambiental representa la forma en que las fincas identifican y manejan los diferentes tipos de residuos generados en los procesos productivos.
- **Adopción digital (X47):** con una diferencia de 1,8 puntos, esta variable del factor tecnológico refleja el grado de digitalización de la documentación y procesos para mejorar la eficiencia.
- **Flexibilidad al cambio (X51):** con una diferencia de 1,9 puntos, esta variable del factor de gestión del cambio evalúa la capacidad de adaptar y mejorar procedimientos en respuesta a nuevos desafíos.

Estas tres variables emergen como elementos diferenciadores determinantes entre fincas innovadoras y tradicionales, conformando el núcleo de prácticas que caracteriza a las fincas capaces de producir café especial de manera sostenible.

## 5.8 Limitantes para la innovación en fincas cafeteras

### *5.8.1 Barreras económicas*

El análisis de las barreras que limitan la innovación revela que los factores económicos constituyen el principal obstáculo. Los caficultores identifican las siguientes limitantes principales:

- **Acceso a financiamiento:** el 76 % de los caficultores no innovadores señala dificultades para acceder a créditos adaptados a los ciclos productivos del café y con tasas asumibles.

- **Volatilidad de precios:** el 82 % menciona la inestabilidad de precios como un factor que desincentiva inversiones a mediano y largo plazo necesarias para implementar innovaciones significativas.
- **Economía de escala:** el 64 % de fincas pequeñas (menos de 3 hectáreas) reporta dificultades para amortizar inversiones en tecnología y certificaciones debido a su limitada escala productiva.
- **Costos de transición:** el 71 % señala los costos iniciales de transición hacia prácticas sostenibles como un obstáculo importante, especialmente durante el período en que se implementan cambios, pero aún no se reciben precios diferenciados.

### *5.8.2 Limitantes socioculturales*

Los factores socioculturales también representan barreras significativas para la innovación:

- **Resistencia al cambio**: el 68 % de caficultores tradicionales manifiesta reticencia a modificar prácticas arraigadas durante generaciones.
- **Brecha generacional**: se observa una desconexión entre el conocimiento tradicional de caficultores experimentados y la apertura a innovaciones de nuevas generaciones.
- **Limitado acceso a conocimiento**: el 59 % reporta dificultades para acceder a información técnica actualizada y adaptada a su contexto específico.
- **Percepción de riesgo**: el 74 % percibe la adopción de nuevas prácticas como un riesgo significativo para su estabilidad económica.

### *5.8.3 Limitantes estructurales y logísticas*

El entorno estructural también presenta barreras importantes:

- **Infraestructura vial deficiente**: el 81 % de las fincas experimenta dificultades logísticas que limitan el acceso a mercados diferenciados.

- **Conectividad digital limitada**: el 67 % reporta problemas de conectividad que dificultan la adopción de tecnologías digitales.
- **Debilidad organizacional**: el 53 % señala la falta de estructuras asociativas fuertes como un obstáculo para acceder a certificaciones y mercados especializados.
- **Servicios de extensión insuficientes**: el 61 % identifica limitaciones en la cobertura y especialización de los servicios de extensión para acompañar procesos de innovación.

### 5.9 Implicaciones teóricas y prácticas

Los hallazgos sobre las variables que presentan diferenciación tienen un importante aporte a nivel teórico y práctico para el sector cafetero.

#### *5.9.1 Implicaciones teóricas*

La identificación empírica de tres variables críticas (X18 con F = 19,451, X47 con F = 15,16, y X51 con F = 19,758, todas con $p < 0,001$), confirman la importancia de factores ambientales, tecnología digital y capacidades adaptativas en procesos de innovación sostenible. Las diferencias entre fincas innovadoras y tradicionales (1,5, 1,3 y 1,6 puntos respectivamente) demuestran tendencia entre estándares globales de sostenibilidad y realidad local de fincas cafeteras colombianas, constituyendo un aporte al conocimiento sobre innovación en contextos agroindustriales.

#### *5.9.2 Implicaciones prácticas*

Los hallazgos permiten priorizar inversiones en gestión integral de residuos, adopción digital y flexibilidad ante el cambio. El análisis económico demuestra que las fincas de café especial obtienen precios superiores con margen de ganancia del 36 % versus 25 % en café convencional, compensando los mayores costos de producción asociados a prácticas certificadas.

Para organizaciones de apoyo, los resultados facilitan el diseño de programas de capacitación focalizados en las tres variables críticas. a) La tipología de fincas, sugiere rutas diferenciadas de intervención, b) mientras que el análisis

de limitantes identifica resistencia al cambio (68 %) y c) dificultades de acceso a financiamiento (76 %), barreras que deben considerarse para diseñar intervenciones efectivas.

Para formuladores de política, los hallazgos permiten desarrollar incentivos específicos dirigidos a las tres variables críticas. Las barreras identificadas como a) acceso a financiamiento (76 %), b) volatilidad de precios (82 %), c) economía de escala (64 %) y d) costos de transición (71 %) requieren intervención mediante líneas de crédito específicas, subsidios para sistemas de gestión de residuos y herramientas digitales, e incentivos tributarios.

## Conclusiones

Este capítulo presenta una caracterización completa de las fincas cafeteras estudiadas en Pitalito, Huila, abarcando su contexto agroecológico, características estructurales y perfil socioeconómico de caficultores, certificaciones sostenibles y análisis económico comparativo. Las fincas con mayor direccionamiento a la innovación se concentran en el rango de 2 a 10 hectáreas, son gestionadas por caficultores entre 40-44 años con niveles educativos superiores y mantienen un equilibrio entre experiencia tradicional y apertura al cambio.

La tipología de fincas según nivel de innovación integra el análisis estadístico, confirma que las tres variables que presentan las mayores diferencias entre fincas innovadoras y tradicionales son: a) gestión integral de residuos (X18), b) adopción digital (X47), y c) flexibilidad ante el cambio (X51). Los factores tecnológicos y de gestión del cambio emergen como las áreas de mayor diferenciación, con brechas de 1,1 y 1,6 puntos respectivamente entre fincas no innovadores e innovadoras.

Los hallazgos validan los siete factores de innovación establecidos en el Capítulo 4, demostrando convergencia entre marco teórico y evidencia empírica. Las tres variables de innovación proceden de tres factores diferentes (ambiental, tecnológico y gestión del cambio), que confirman que la innovación en café especial sostenible es multivariada. El análisis económico demuestra que las fincas de café especial obtienen precios superiores con margen de ganancia del

36 % versus 25 % en café convencional), compensando ampliamente los costos de producción.

El análisis de limitantes identifica barreras económicas (76 % sin acceso a financiamiento, 82 % afectados por volatilidad de precios), socioculturales (68 % con resistencia al cambio), y estructurales (64 % de fincas pequeñas con dificultades de economía de escala) que condicionan la adopción de innovaciones. La caracterización realizada proporciona una base empírica sólida para el desarrollo de estrategias diferenciadas de promoción de la innovación, reconociendo la diversidad del sector cafetero y la necesidad de adaptar las nuevas ideas a los perfiles de los productores.

Capítulo

# 6

# Construcción y validación del modelo de innovación

La transformación del sector cafetero colombiano hacia modelos más sostenibles y competitivos requiere herramientas que orienten eficazmente los procesos de innovación. En este capítulo se presenta el desarrollo sistemático de un modelo de innovación diseñado específicamente para el contexto de las fincas cafeteras productoras de café especial e

n Colombia.

Partiendo de la caracterización realizada en el capítulo anterior, se avanza hacia la construcción de un modelo que no solo identifica las variables críticas que determinan la capacidad innovadora, sino que permite predecir, con alta precisión la probabilidad de que una finca pueda transformarse en productora de café especial. Este modelo representa una herramienta práctica para caficultores, técnicos, cooperativas y entidades de fomento interesadas en promover la innovación como vía para mejorar la calidad, sostenibilidad y rentabilidad de la producción cafetera.

## 6.1 Fundamentos metodológicos del modelo

### *6.1.1 Enfoque conceptual*

El desarrollo del modelo de innovación se fundamenta en una combinación de enfoques teóricos y prácticos que buscan capturar la complejidad

multidimensional de la innovación en el contexto cafetero. Como base conceptual, se adoptan los tipos de innovación propuestos en el Manual de Oslo (2018) los cuales se definen como la implementación de un producto o servicio nuevo o significativamente mejorado, cambios en los procesos productivos o innovaciones en las formas de de relacionamiento.

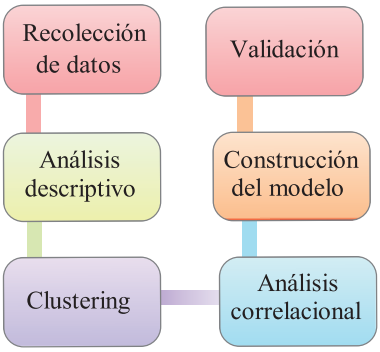
Esta conceptualización se complementa con el enfoque de Lambrecht et al., (2014), que plantea una visión integral de la innovación, incorporando tanto aspectos tecnológicos como no tecnológicos, considerando variables aplicables específicamente al contexto agrícola. Además, se incorporan elementos de los modelos de innovación sostenible propuestos por Samper y Quiñones (2017) quienes destacan que las certificaciones pueden contribuir al fortalecimiento de la innovación en el sector cafetero.

El estudio desarrollado identifica siete factores clave de innovación, relacionados con factores económicos (F1), sociales (F2), ambientales (F3), producción (F4), conocimiento (F5), tecnología (F6) y gestión del cambio (F7). Estos factores permiten comprender el relacionamiento entre variables que inciden en la capacidad de innovación en el proceso de un producto.

### *6.1.2 Diseño metodológico*

El desarrollo del modelo siguió un proceso metodológico riguroso que combinó análisis cuantitativo y validación estadística. La figura 15 ilustra las etapas clave del proceso de construcción del modelo.

**Figura 15.** *Etapas del proceso metodológico para la construcción del modelo*




**Nota.** Elaboración propia.

El diseño metodológico incluyó las siguientes fases:

1. **Recolección de datos**: aplicación del instrumento validado a 66 fincas cafeteras seleccionadas mediante muestreo aleatorio simple.
2. **Análisis descriptivo**: caracterización de las fincas según su capacidad innovadora y producción de café especial.
3. **Clustering**: agrupación de fincas según su nivel de innovación para identificar patrones comunes.
4. **Análisis correlacional**: identificación de relaciones significativas entre variables de innovación y capacidad para producir café especial.
5. **Selección del modelo estadístico**: evaluación de diferentes aproximaciones para seleccionar el método más adecuado según la naturaleza de los datos.
6. **Construcción del modelo**: desarrollo del modelo predictivo basado en las variables más significativas.
7. **Validación**: verificación de la precisión y robustez del modelo mediante técnicas estadísticas.

Este enfoque secuencial y sistemático permitió garantizar la construcción de un modelo con sólido respaldo metodológico y capacidad predictiva verificable.

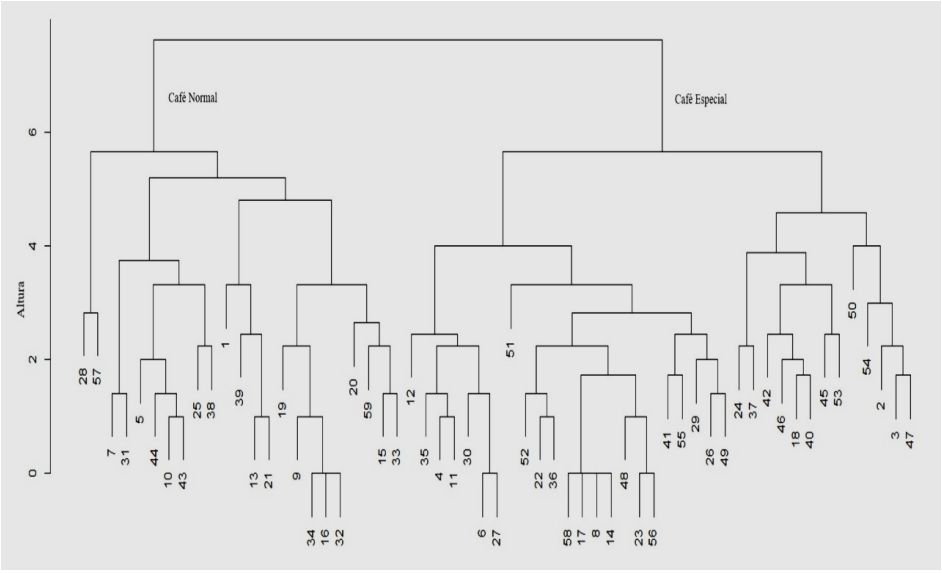
## 6.2 Análisis de agrupamiento e identificación de patrones

### *6.2.1 Técnicas de clustering aplicadas*

El análisis de agrupamiento constituyó un paso fundamental para identificar patrones significativos entre las fincas estudiadas. Se desarrolló un análisis de agrupación jerárquica, utilizando distancia euclidiana como medida de similitud entre observaciones. Este enfoque permite formar grupos de fincas con características similares, a partir de sus variables de innovación.

La figura 16 muestra el dendrograma resultante que representa visualmente la estructura jerárquica de las fincas cafeteras.

**Figura 16.** *Dendrograma de agrupación jerárquica de fincas que producen café convencional y especial*




**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

El análisis de agrupamiento reveló la formación de dos clústeres principales:

- **Clúster 1 - Fincas innovadoras**: conformado por 31 fincas (47 % de la muestra) caracterizadas por altos niveles en variables de innovación.
- **Clúster 2 - Fincas tradicionales**: integrado por 35 fincas (53 % de la muestra) con menores niveles de adopción de prácticas innovadoras.

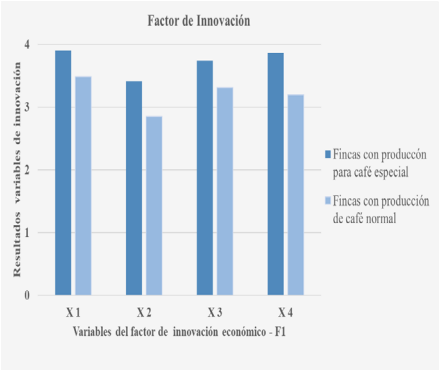
Esta clasificación binaria se utilizó como variable dependiente para el desarrollo del modelo predictivo, etiquetando las fincas como innovadoras (valor 1) o no innovadoras (valor 0).

### *6.2.2 Diferenciación de perfiles entre grupos*

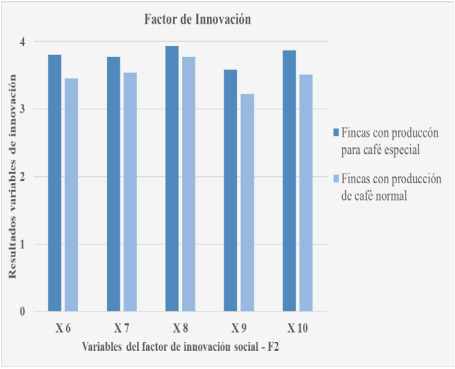
El análisis comparativo entre los clústeres identificados evidenció diferencias significativas en los perfiles de innovación. La figura 17 representa la caracterización de los grupos según los siete factores de innovación analizados, permitiendo visualizar de manera comparativa los niveles de desempeño de cada grupo.

**Figura 17.** *Perfiles de innovación que tienen las fincas que producen café normal y especial*

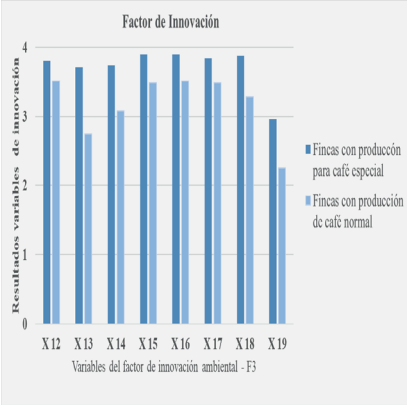
a) Factor de innovación económico, variables entre X1 y X4



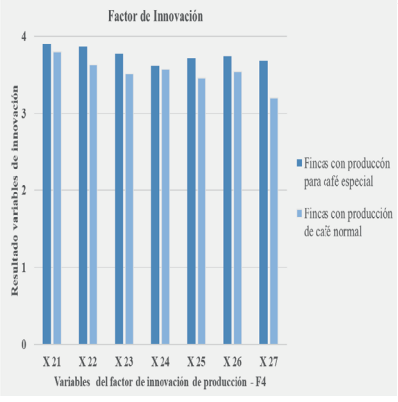

b) Factor de innovación social, variables de innovación entre X6 y X10



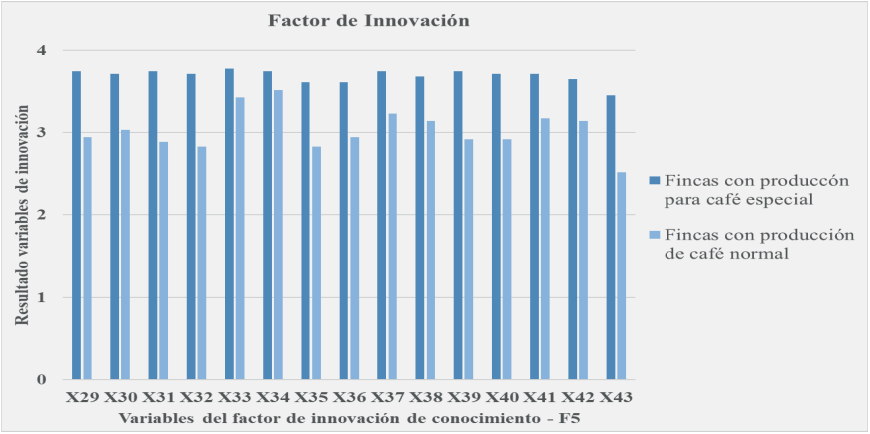

c) Factor de innovación ambiental, variables de innovación entre X12 y X19



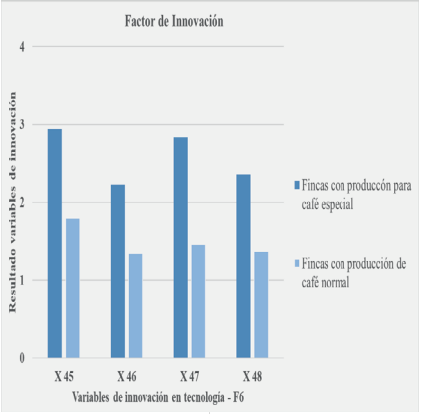

d) Factor de innovación producción, variables de innovación entre X21 y X27



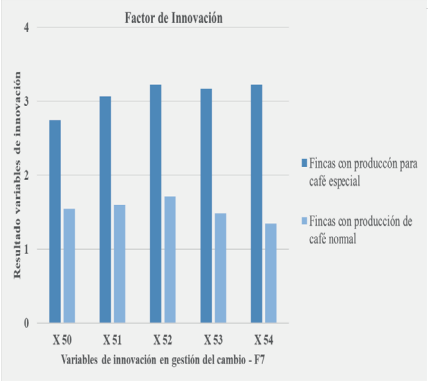
e) Factor de innovación conocimiento, variables de innovación entre X29 y X43




f) Factor de innovación en tecnología, variables de innovación entre X45 y X48




g) Factor de innovación en gestión del cambio, Variables de innovación entre X50 y X54




**Nota.** Elaboración propia.

Las mayores diferencias entre grupos se observaron en los factores de tecnología (F6) y gestión del cambio (F7), con brechas de 1.1 y 1.6 puntos respectivamente en una escala de 1 a 4. Estas diferencias marcadas sugieren que dichas dimensiones resultan particularmente determinantes en la clasificación

de una finca como innovadora. Al analizar las variables específicas dentro de cada factor, se identificaron tres variables que presentaron las mayores diferencias entre grupos:

- **X18 - Gestión de residuos** (Factor ambiental): Diferencia de 1.5 puntos.
- **X47 - Adopción digital** (Factor tecnológico): Diferencia de 1.8 puntos.
- **X51 - Flexibilidad al cambio** (Factor gestión del cambio): Diferencia de 1.9 puntos.

Estas variables emergieron como elementos diferenciadores clave entre los grupos, sugiriendo su potencial como predictores significativos para el modelo.

## 6.3 Análisis correlacional de variables de innovación

### *6.3.1 Métodos de correlación aplicados*

Se realizó un análisis correlacional con el propósito de identificar las variables con mayor poder predictivo y comprender las relaciones entre las 54 variables de innovación y la probabilidad de producir café especial. Este análisis constituye un paso fundamental en la construcción del modelo de innovación dado que permite:

- Identificar variables con alta asociación con la variable dependiente.
- Detectar relaciones entre variables independientes (multicolinealidad).
- Validar los hallazgos del análisis ANOVA desde una perspectiva complementaria.
- Priorizar variables para la construcción del modelo predictivo.

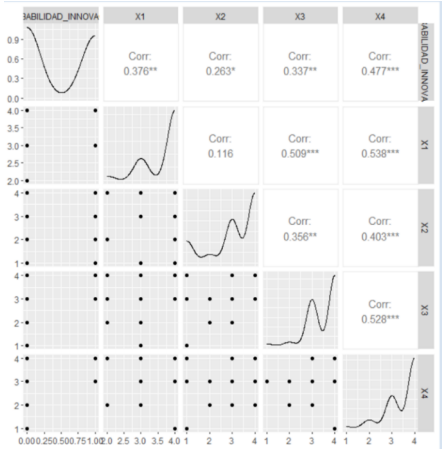
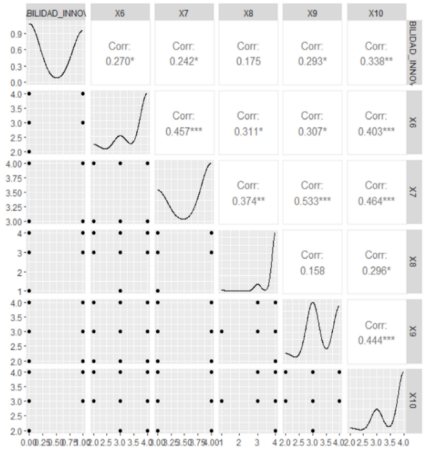
Para este análisis se aplicaron dos técnicas complementarias de correlación:

- **Análisis de emparejamiento (*Pairs*)**: Esta técnica permite observar el relacionamiento de cada factor (variable independiente) con la variable probabilidad de innovación (Variable dependiente).

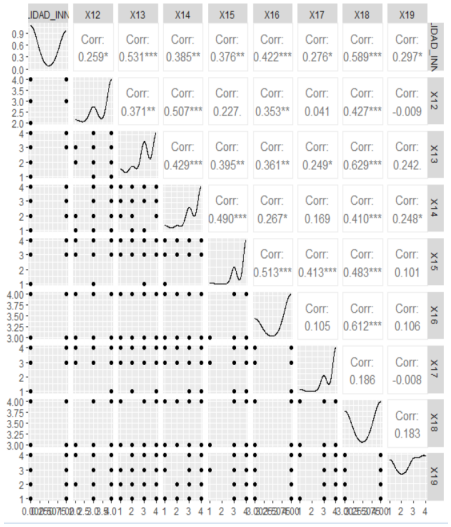
- **Mapas de calor (*Heatmap*)**: Proporcionaron una representación visual de la matriz de correlación completa. que hacen más fácil detectar patrones y conexiones por medio de colores.

La figura 18 muestra gráficos de emparejamiento, evidenciando que la variable de probabilidad de Innovación (Y) muestra valores significativos de correlación con variables asociadas a os factores económico, ambiental, conocimiento, tecnología y gestión del cambio. Estas relaciones sugieren que dichas variables pueden incidir de manera directa en la mejora de los procesos productivos de las fincas cafeteras para generar un café especial.

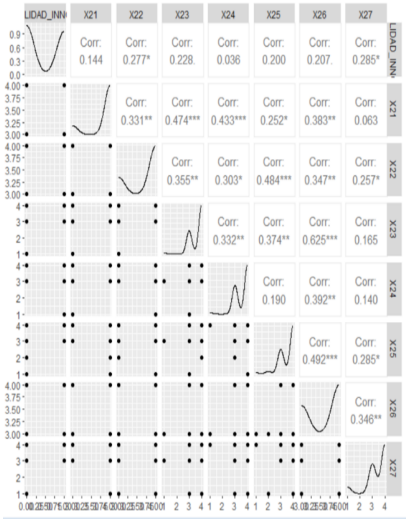
**Figura 18.** *Análisis de emparejamiento entre probabilidad de innovación y variables que están relacionadas con los factores de innovación*

| a) Factor de innovación económico, variables entre X1 y X4 | b) Factor de innovación social, variables de innovación entre X6 y X10 |
|---|---|
|  |  |

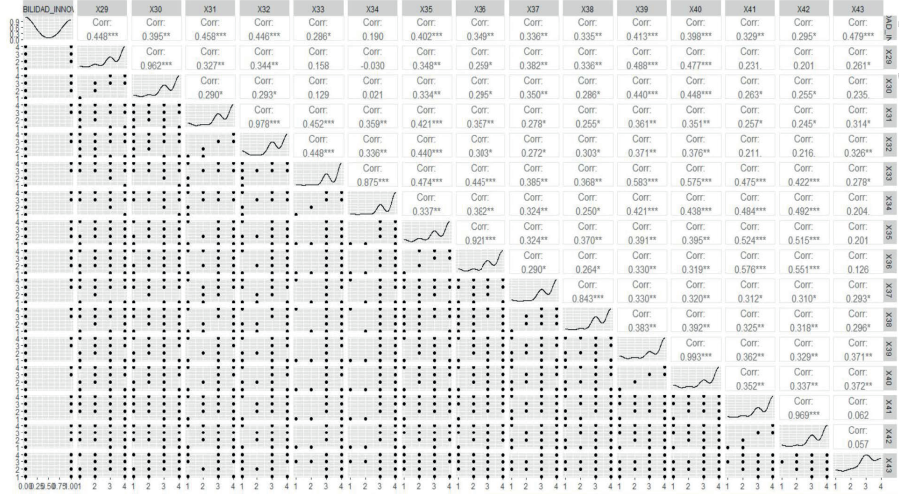
c) Factor de innovación ambiental, variables de innovación entre X12 y X19



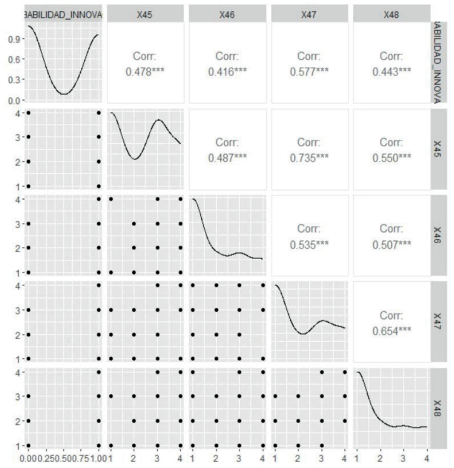

d) Factor de innovación producción, variables de innovación entre X21 y X27



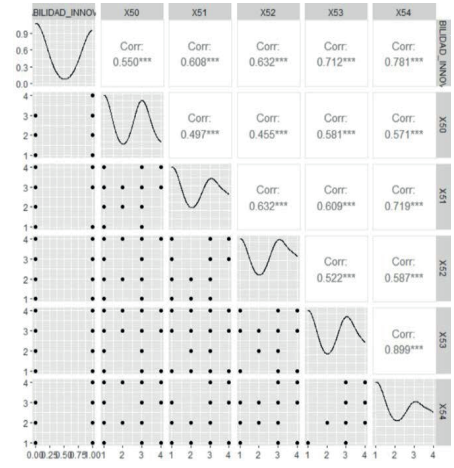

e) Factor de innovación conocimiento, variables de innovación entre X29 y X43



f) Factor de innovación en tecnología, variables de innovación entre X45 y X48




g) Factor de innovación en gestión del cambio, Variables de innovación entre X50 y X54



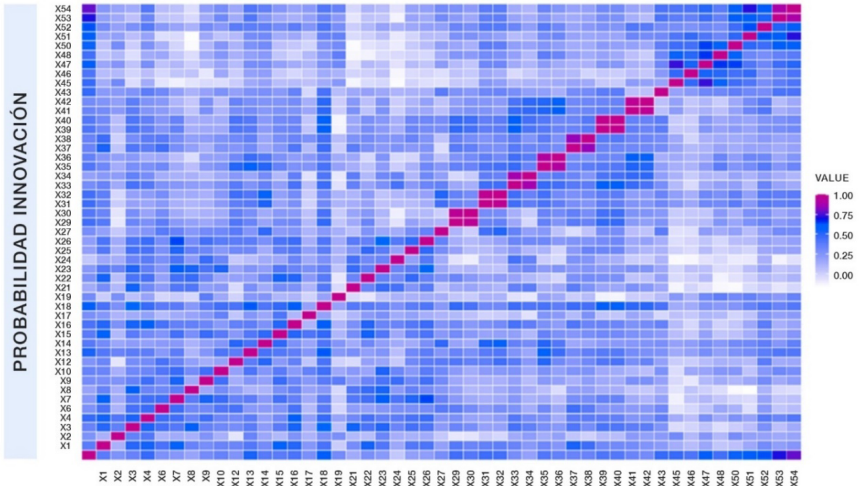

**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

El análisis de los resultados identifica variables clave que incrementan de forma significativa la probabilidad de innovación en los procesos productivos de las fincas, fortaleciendo su capacidad para obtener café diferenciado. Además, se identifican correlaciones estadísticamente significativas (***) entre varias variables asociadas a los factores de innovación, lo que plantea la necesidad de emplear herramientas adicionales que permitan seleccionar con mayor precisión las variables con mayor probabilidad de incidir en la innovación, orientadas a mejorar los procesos productivos que posibiliten la generación de café de especialidad.

### *6.3.2 Resultados del análisis correlacional*

El análisis correlacional se realizó mediante mapas de calor (Figura 19). La figura permite identificar qué variables independientes presentan una relación más alta con la variable dependiente probabilidad innovación, con la finalidad de identificar procesos que permita generar un producto diferenciado.

**Figura 19.** *Mapa de calor de correlaciones entre variables de innovación*




**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

En la tabla 3 se presentan los datos de correlación entre las variables y la probabilidad de innovación para que una finca cafetera pueda mejorar los procesos de producción para producir café especial de tipo sostenible.

**Tabla 3.** *Valores de correlación entre variables de innovación con la probabilidad de innovación*

| Variables probabilidad de innovación | Valores de correlación | Variables probabilidad de innovación | Valores de correlación |
|---|---|---|---|
| PROBABILIDAD_ INNOVACION | 1 | X29 | 0.44792566 |
| X1 | 0.37555102 | X30 | 0.39457241 |
| X2 | 0.26316289 | X31 | 0.45769961 |
| X3 | 0.33692435 | X32 | 0.446139 |
| X4 | 0.47731394 | X33 | 0.28631919 |
| X6 | 0.26992734 | X34 | 0.19028141 |
| X7 | 0.24230407 | X35 | 0.40245135 |
| X8 | 0.17477374 | X36 | 0.34892755 |

| Variables probabilidad de innovación | Valores de correlación | Variables probabilidad de innovación | Valores de correlación |
|---|---|---|---|
| X9 | 0.29287039 | X37 | 0.33572222 |
| X10 | 0.33789592 | X38 | 0.33540808 |
| X12 | 0.25859463 | X39 | 0.41325396 |
| X13 | 0.53129045 | X40 | 0.3983849 |
| X14 | 0.38501001 | X41 | 0.32855062 |
| X15 | 0.37555102 | X42 | 0.29540944 |
| X16 | 0.42238031 | X43 | 0.47932973 |
| X17 | 0.27551925 | X45 | 0.47825784 |
| X18 | 0.58851698 | X46 | 0.41582195 |
| X19 | 0.29724095 | X47 | 0.57697456 |
| X21 | 0.14368424 | X48 | 0.44257688 |
| X22 | 0.27664217 | X50 | 0.54957537 |
| X23 | 0.22848131 | X51 | 0.60752826 |
| X24 | 0.03588917 | X52 | 0.63170346 |
| X25 | 0.20033972 | X53 | 0.71181891 |
| X26 | 0.20654211 | X54 | 0.7808601 |
| X27 | 0.28503131 | | |

**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

Los resultados del análisis correlacional revelaron diez variables con coeficientes de correlación de Pearson superiores a 0.47, consideradas como correlaciones fuertes:

1. **X54** (Gestión del cambio): 0.7808601
2. **X53** (Gestión del cambio): 0.71181891
3. **X52** (Gestión del cambio): 0.63170346
4. **X51** (Gestión del cambio): 0.60752826
5. **X18** (Ambiental): 0.58851698

6. **X47** (Tecnología): 0.57697456
7. **X50** (Gestión del cambio): 0.54957537
8. **X13** (Ambiental): 0.53129045
9. **X43** (Conocimiento): 0.47932973
10. **X4** (Económico): 0.47731394

Este análisis confirmó la importancia primaria de los factores de gestión del cambio, ambientales y tecnológicos como determinantes de la capacidad innovadora de las fincas cafeteras.

## 6.4 Selección del método estadístico para el modelo

### *6.4.1 Evaluación de alternativas*

La naturaleza de los datos y el objetivo predictivo del modelo orientaron la evaluación de diferentes métodos estadísticos. Se consideraron principalmente dos alternativas:

**1. Regresión lineal**: Inicialmente evaluada por su simplicidad interpretativa, pero descartada porque:

- Asume una variable dependiente continua, mientras que la probabilidad de innovación es binaria (0/1).
- Puede predecir valores fuera del rango 0-1, inadecuados para una probabilidad.
- No maneja adecuadamente la relación no lineal entre variables independientes y la probabilidad de ocurrencia.

**2. Regresión logística**: Seleccionada como método óptimo debido a:

Esta técnica estudia la relación entre una variable dependiente y múltiples variables independientes sean numéricos o por categorías.

- No hay una relación directa entre las variables dependientes e independientes.
- Proporciona odds ratios fácilmente interpretables.
- Maneja adecuadamente variables independientes ordinales (medidas en escala Likert de 1-4).

### *6.4.2 Fundamentos de la regresión logística*

La regresión logística es un método estadístico que calcula la probabilidad de que ocurra un evento en función de un conjunto de variables. El modelo se basa en la transformación logit, que convierte una probabilidad (restringida entre 0 y 1) en una escala logarítmica que puede variar de menos infinito a más infinito. La ecuación (2) fundamental del modelo se expresa como (Zou et al., 2019):

$$ln(pi/(1-pi)) = Beta_0 + Beta_1 * X_1 + \ldots + B_k * K_k \quad (2)$$

Donde:

- p indica la probabilidad de que una finca sea innovadora o no innovadora.
- ln(pi/(1-pi)) es el logaritmo natural de las probabilidades a favor del evento.
- beta_0 es el término constante o intercepto.
- beta_1, beta_2, ..., beta_k son los coeficientes asociados a las variables independientes X_1, X_2, ..., X_k.

Este método resulta particularmente adecuado para el objetivo de predecir la probabilidad de innovación en fincas cafeteras, permitiendo determinar qué variables tienen mayor influencia en esta probabilidad y cuantificar su impacto.

## 6.5 Desarrollo del modelo de regresión logística

### *6.5.1 Análisis de variables mediante ANOVA*

El análisis ANOVA se realizó de manera sistemática para cada una de las 54 variables de innovación identificadas, agrupadas según los siete factores de innovación. La tabla 4 presenta un resumen del análisis por factor, para cada

variable se calculó el estadístico Chi-cuadrado y su valor de significancia (p-value), estableciendo como criterio de selección $p < 0.05$ (nivel de confianza del 95 %).

**Tabla 4** *Análisis ANOVA con las todas variables de innovación*

| Factor de innovación | Variables analizadas | Significativas (p<0.05) | No significativas | Variables destacadas |
|---|---|---|---|---|
| F1: Económico | 5 | 1 | 4 | X4 (p=0.100) |
| F2: Social | 6 | 0 | 6 | Ninguna |
| F3: Ambiental | 9 | 1 | 8 | X18 (p<0.001)*** |
| F4: Producción | 8 | 0 | 8 | Ninguna |
| F5: Conocimiento | 16 | 1 | 15 | X43 (p=0.019)** |
| F6: Tecnología | 5 | 1 | 4 | X47 (p<0.001)*** |
| F7: Gestión cambio | 5 | 3 | 2 | X50, X51***, X52** |
| TOTAL | 54 | 7 | 47 | — |

**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

Los resultados revelan que solo 7 (13 %) presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre fincas innovadoras que producen café especial y normal. Es notable que 47 variables (87 %) no mostraron diferencias significativas, lo que indica que la innovación en fincas cafeteras no se caracteriza por cambios en todas las variables, sino por transformaciones específicas en áreas críticas

Con las 7 variables significativas identificadas, se aplicó un proceso de selección en tres etapas para determinar el conjunto óptimo de predictores. La tabla 5 presenta los resultados de cada análisis:

Análisis 1, se evalúan las 7 variables significativas conjuntamente. Los resultados mostraron que cuatro variables (X18, X43, X47, X51) mantuvieron alta significancia, mientras que X4, X50 y X52 mostraron significancia reducida en presencia de las otras.

Análisis 2, se afina el modelo con las 4 variables seleccionadas. Tres de ellas

(X18, X47, X51) presentaron los valores p más bajos (< 0.001) y estadísticos Chi-cuadrado más altos.

Análisis 3: Se validó el modelo final con las 3 variables seleccionadas, confirmando que X18, X47 y X51 mantienen alta significancia (p < 0.001) cuando se analizan conjuntamente.

**Tabla 5.** *Análisis ANOVA de variables con mayor impacto*

| Análisis 1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor de innovación | Variables | Chisq | Df | Pr(>Chisq) | Nivel Significativo |
| Económico | X4 | 2.6908 | 1 | 0.1009304 | |
| Ambiental | X18 | 4.4618 | 1 | 0.0346601 | * |
| Conocimiento | X43 | 4.1823 | 1 | 0.0408482 | * |
| Tecnología | X47 | 13.3778 | 1 | 0.0002546 | *** |
| Gestión del cambio | X50 | 2.567 | 1 | 0.1091171 | |
| Gestión del cambio | X51 | 5.6509 | 1 | 0.017446 | * |
| Gestión del cambio | X52 | 3.4791 | 1 | 0.0621477 | . |
| Análisis 2 | | | | | |
| Factor de innovación | Variables | Chisq | Df | Pr(>Chisq) | Nivel Significativo |
| Ambiental | X18 | 13.345 | 1 | 0.0002591 | *** |
| Conocimiento | X43 | 3.981 | 1 | 0.0460159 | * |
| Tecnología | X47 | 17.634 | 1 | 0.000026781 | *** |
| Gestión del cambio | X51 | 19.863 | 1 | 0.000008321 | *** |
| Análisis 3 | | | | | |
| Factor de innovación | Variables | Chisq | Df | Pr(>Chisq) | Nivel Significativo |
| Ambiental | X18 | 19.451 | 1 | 0.000010322 | *** |
| Tecnología | X47 | 15.16 | 1 | 0.000098775 | *** |
| Gestión del cambio | X51 | 19.758 | 1 | 0.000008789 | *** |

**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

Los resultados del análisis ANOVA confirmaron la significancia estadística de tres variables principales:

- **X18 (Gestión integral de residuos)**: variable del factor ambiental con un valor p de 0.000010322, altamente significativo.
- **X47 (Adopción de tecnología digital)**: variable del factor tecnológico con un valor p de 0.000098775, también altamente significativo.
- **X51 (Flexibilidad ante el cambio)**: variable del factor de gestión del cambio con un valor p de 0.000008789, mostrando la mayor significancia estadística.

Estas tres variables fueron seleccionadas como los predictores claves para el desarrollo del modelo de regresión logística.

### *6.5.2 Construcción del modelo*

Con base en las tres variables identificadas como más significativas mediante el análisis ANOVA y correlacional (X18 - Gestión integral de residuos, X47 - Adopción de tecnología digital, y X51 - Flexibilidad ante el cambio), se procedió a la construcción del modelo de regresión logística mediante el software R-Commander.

La especificación del modelo se basó en los siguientes criterios metodológicos: a) Variable dependiente binaria (Y) codificada como 1 para fincas innovadoras (productoras de café especial) y 0 para fincas con procesos de producción normal, b) Variables independientes ordinales medidas en escala Likert de 1 a 4, representando el nivel de implementación de cada práctica, c) Muestra de 66 observaciones (31 fincas innovadoras y 35 fincas tradicionales), d) Análisis realizado mediante el software R-Commander, herramienta que facilita el análisis estadístico con interfaz gráfica para regresión logística.

El proceso de construcción del modelo siguió una secuencia sistemática: Primero, se evaluó un modelo de regresión logística incluyendo todas las variables de los factores de innovación identificadas mediante el análisis ANOVA (X4, X18, X43, X47, X50, X51, X52). Segundo, se identificó que algunas variables perdían significancia en presencia de otras, por lo que se afinó el modelo con las 4 variables que mantuvieron significancia consistente (X18, X43, X47, X51). Tercero, tras evaluar los coeficientes estimados mediante R-Commander y la capacidad predictiva de cada variable, se determinó que

X43 presentaba un aporte marginal menor, resultando en el modelo final con 3 variables (X18, X47, X51) que demostraron la mayor significancia estadística y capacidad predictiva. Este proceso permitió identificar un modelo que equilibra simplicidad con capacidad explicativa. La tabla 6 presenta los coeficientes estimados del modelo final.

**Tabla 6.** *Coeficientes del modelo de regresión logística*

| Descripción | Estimado | Std. Error | z value | Pr(>\|z\|) | Nivel significativo |
|---|---|---|---|---|---|
| Intercepto | -26.6951 | 7.939 | -3.363 | 0.000772 | *** |
| X18 | 4.861 | 1.5995 | 3.039 | 0.002373 | ** |
| X47 | 2.1631 | 0.7833 | 2.762 | 0.005752 | ** |
| X51 | 2.0838 | 0.7098 | 2.936 | 0.003328 | ** |

**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

La validación del modelo se fundamenta en un análisis que abarca diferentes dimensiones. El análisis ANOVA permitió identificar las variables X18 (gestión integral de residuos), X47 (adopción de tecnología digital) y X51 (flexibilidad ante el cambio) como las más significativas, proporcionando una base sólida para el modelo. La regresión logística confirma la relevancia de estas variables, con coeficientes estadísticamente significativos ($p < 0.05$) para todas ellas. La verificación de los supuestos paramétricos, incluyendo normalidad, homogeneidad, linealidad e independencia a través de los gráficos de residuos, demostró que el modelo cumple con los requisitos estadísticos fundamentales.

Finalmente, la evaluación de la capacidad predictiva mediante la curva ROC arrojó un área bajo la curva (AUC) de 0.97 (IC 95 %: 0,945 – 1.0), indicando una excelente capacidad discriminativa del modelo con una precisión del 97 % en la clasificación de fincas cafeteras. Esta convergencia de evidencias estadísticas respalda la robustez y validez del modelo.

La ecuación (3) del modelo de regresión logística resultante es:

$$Y\ (Probabilidad\ de\ innovación) = -26.6951 + 4.861 \times X18 + 2.1631 \times X47 + 2.0838 \times X51 \quad (3)$$

Donde:

- Y representa la probabilidad de que una finca sea clasificada como innovadora.
- X18 corresponde al nivel de implementación de gestión integral de residuos.
- X47 representa el grado de adopción de tecnología digital.
- X51 indica el nivel de flexibilidad ante el cambio.

Este modelo permite calcular la probabilidad de que una finca sea innovadora (y por tanto capaz de producir café especial sostenible) basándose en la evaluación de estas tres variables clave.

### *6.5.3 Interpretación de los coeficientes*

Los coeficientes del modelo proporcionan información valiosa sobre la influencia relativa de cada variable:

- **X18 (Gestión integral de residuos)**: Con un coeficiente de 4.861, esta variable muestra el mayor impacto en la probabilidad de innovación. Por cada mejora en sus prácticas de gestión en residuos, las probabilidades de que una finca sea innovadora aumentan en 4.861 unidades.
- **X47 (Adopción de tecnología digital)**: Con un coeficiente de 2.1631, esta variable tiene un impacto considerable. Cada unidad de incremento en la adopción digital aumenta el logaritmo de las probabilidades en 2.1631 unidades.
- **X51 (Flexibilidad ante el cambio)**: Con un coeficiente de 2.0838, esta variable muestra un impacto similar a la adopción digital. Cada unidad de incremento en la flexibilidad aumenta el logaritmo de las probabilidades en 2.0838 unidades.

El intercepto negativo (-26.6951) indica que, en ausencia de las tres variables críticas (o con valores muy bajos), la probabilidad de que una finca sea innovadora es prácticamente nula.

## 6.6 Descripción detallada de las variables clave

### *6.6.1 Gestión integral de residuos (X18)*

Esta variable, perteneciente al factor ambiental, evalúa la capacidad de la finca para identificar y gestionar de manera segura los diferentes tipos de residuos generados durante el proceso productivo. Una implementación óptima de esta variable incluye:

- **Identificación y categorización**: Clasificación sistemática de los diferentes tipos de residuos (orgánicos, inorgánicos, peligrosos) generados en cada etapa del proceso.
- **Prácticas de segregación**: Implementación de sistemas para separar residuos desde su origen, facilitando su manejo posterior.
- **Maximización de reutilización y reciclaje**: Desarrollo de prácticas que permitan aprovechar residuos como recurso, particularmente la pulpa de café como abono y los líquidos para la producción de gases.
- **Disposición adecuada**: Establecimiento de procedimientos seguros para la eliminación de residuos no recuperables, minimizando impactos ambientales.
- **Áreas específicas**: Creación de zonas designadas para almacenamiento y procesamiento de residuos, evitando contaminación cruzada.

La gestión integral de residuos no solo minimiza impactos negativos en salud y medio ambiente, sino que también genera valor agregado al transformar lo que tradicionalmente se consideraba desecho en recurso productivo.

### *6.6.2 Adopción de tecnología digital (X47)*

Esta variable, componente del factor tecnológico, evalúa el grado de digitalización en la gestión de información relacionada con los procesos productivos, calidad, capacitaciones y aspectos económicos. Una implementación avanzada de esta variable comprende:

- **Digitalización documental**: Transformación de registros físicos a formatos digitales accesibles y seguros.

- **Sistemas de trazabilidad**: Implementación de herramientas digitales para seguimiento del producto en cada etapa del proceso de producción de las fincas cafeteras.
- **Gestión de datos productivos**: Registro sistemático de variables productivas rendimientos, calidades, insumos) en formatos que permitan análisis posterior.
- **Comunicación digital**: Uso de plataformas digitales para conectar con compradores, certificadoras y comunidades de práctica.

  **Respuesta a cambios de mercado**: Utilización de herramientas digitales para monitorear tendencias y adaptar estrategias comerciales.
- La adopción digital es un camino ordenado para dar uso y manejar la información con la finalidad de decidir mejor, la cual puede estar implementado en cada proceso de producción.

### *6.6.3 Flexibilidad ante el cambio (X51)*

Esta variable, parte del factor de gestión del cambio, evalúa la disposición y capacidad de la finca para adaptarse a modificaciones en el ambiente productivo y comercial. Una implementación efectiva incluye:

- **Adaptación a nuevos roles**: Capacidad para redistribuir responsabilidades según necesidades emergentes.
- **Modificación de procesos**: Disposición para ajustar procedimientos en respuesta a nueva información o circunstancias.
- **Adopción de nuevos métodos**: Apertura para incorporar técnicas y prácticas innovadoras que mejoren resultados.
- **Comunicación abierta**: Desarrollo de canales efectivos para compartir información y recibir retroalimentación.
- **Gestión de sugerencias:** Implementación de mecanismos para que trabajadores y colaboradores puedan proponer mejoras.

La flexibilidad ante el cambio representa un factor crítico en un entorno caracterizado por fluctuaciones de mercado, variabilidad climática y evolución constante de estándares y certificaciones.

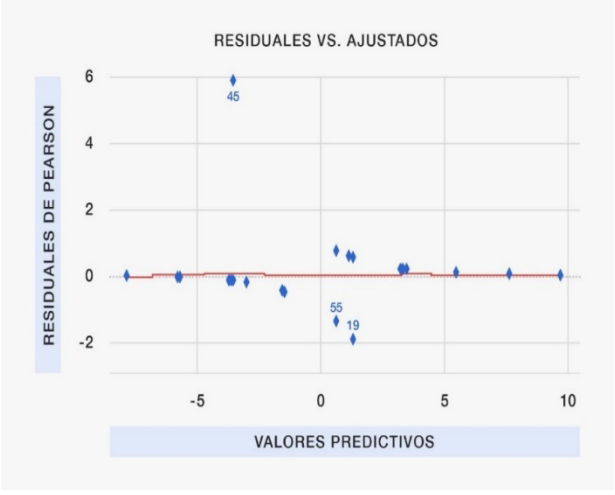
## 6.7 Validación del modelo

### *6.7.1 Verificación de supuestos estadísticos*

La validación del modelo requirió verificar el cumplimiento de los supuestos fundamentales de la regresión logística:

- **Linealidad**: verifica la relación entre las variables independientes y la probabilidad de innovación mediante análisis de residuos. Como se puede observar en la figura 20, los residuos están esparcidos aleatoria sin que presente patrones evidentes, confirmando el cumplimiento del supuesto de linealidad.

**Figura 20.** *Residuos versus valores ajustados*




**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

- **Independencia de observaciones**: El diseño muestral mediante selección aleatoria simple aseguró la independencia entre observaciones.

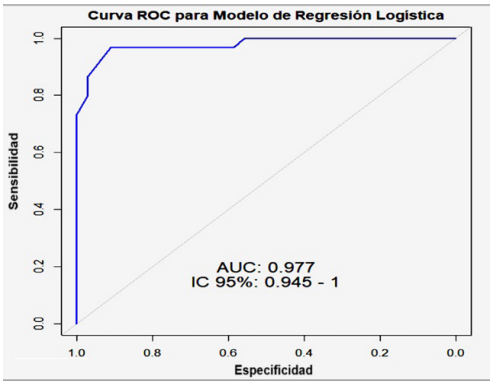
- **Ausencia de multicolinealidad**: Se verificó que las variables predictoras no presentaran correlaciones excesivamente altas entre sí (todas por debajo de 0.7), evitando problemas de multicolinealidad.
- **Ausencia de valores atípicos influyentes**: El análisis de distancias de Cook y gráficos de apalancamiento permitió identificar la observación 45 como potencialmente atípica. Sin embargo, su distancia de Cook permanecía por debajo del umbral crítico de 1, y análisis de sensibilidad excluyendo esta observación confirmaron que no afectaba significativamente los coeficientes del modelo.
- **Tamaño muestral adecuado**: La regla general de al menos 10 eventos (casos positivos) por variable predictora se cumplió adecuadamente, con 31 fincas clasificadas como innovadoras y 3 predictores en el modelo final.

El cumplimiento satisfactorio de estos supuestos confirma la validez estadística del modelo desarrollado.

### *6.7.2 Evaluación de la capacidad predictiva*

Para evaluar el poder predictivo del modelo de innovación, se desarrolló mediante la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y calculando el área bajo la curva (AUC). La figura 21 muestra la curva ROC del modelo.

**Figura 21.** *Curva ROC para evaluar la capacidad predictiva del modelo*




**Nota.** Elaboración propia con base en el procesamiento de datos mediante el software R-Commander.

El resultado obtenido del área bajo la curva ROC es de 0.97 (IC 95 %), lo que indica una excelente capacidad discriminativa del modelo. Este valor significa que el modelo tiene un 97 % de probabilidad de clasificar correctamente un par de fincas (una innovadora y otra no innovadora) basándose en las tres variables predictoras identificadas.

### *6.7.3 Análisis de sensibilidad*

Se realizó un análisis de sensibilidad para comprar la capacidad predictiva del modelo de innovación versus los datos obtenidos en campo las fincas que tiene procesos de innovación para generar café diferenciado. La tabla 7 muestra los resultados acordes a las predicciones del modelo de innovación para una muestra de 20 fincas.

**Tabla 7.** *Análisis de sensibilidad del modelo*

| Resultados de encuestas | | | | | Resultados ecuación del modelo de innovación | | | | | Acierto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Finca | X17 | X48 | X51 | Tipo de Café | X18 | X47 | X51 | Probabilidad | Tipo de Café | Si/No) |
| 1 | 3 | 1 | 3 | Normal | 3 | 1 | 3 | 0.02418359 | Normal | Si |
| 2 | 3 | 1 | 3 | Normal | 3 | 1 | 3 | 0.02418359 | Normal | Si |
| 3 | 3 | 2 | 3 | Normal | 3 | 2 | 3 | 0.17733624 | Normal | Si |
| 4 | 3 | 2 | 3 | Especial | 3 | 2 | 3 | 0.17733624 | Normal | No |
| 5 | 4 | 1 | 4 | Especial | 4 | 1 | 4 | 0.96257237 | Especial | Si |
| 6 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 7 | 4 | 3 | 4 | Especial | 4 | 3 | 4 | 0.99948632 | Especial | Si |
| 8 | 1 | 1 | 1 | Normal | 1 | 1 | 1 | 2.3013E-08 | Normal | Si |
| 9 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 10 | 4 | 4 | 4 | Especial | 4 | 4 | 4 | 0.99994092 | Especial | Si |
| 11 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 12 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 13 | 4 | 1 | 3 | Especial | 4 | 1 | 3 | 0.76194996 | Especial | Si |
| 14 | 4 | 1 | 4 | Especial | 4 | 1 | 4 | 0.96257237 | Especial | Si |

| Resultados de encuestas | | | | | Resultados ecuación del modelo de innovación | | | | | Acierto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Finca | X17 | X48 | X51 | Tipo de Café | X18 | X47 | X51 | Probabilidad | Tipo de Café | Si/No) |
| 15 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 16 | 4 | 2 | 4 | Especial | 4 | 2 | 4 | 0.9955496 | Especial | Si |
| 17 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 18 | 4 | 1 | 1 | Normal | 4 | 1 | 1 | 0.04723649 | Normal | Si |
| 19 | 4 | 3 | 4 | Especial | 4 | 3 | 4 | 0.99948632 | Especial | Si |
| 20 | 4 | 2 | 3 | Especial | 4 | 2 | 3 | 0.96532681 | Especial | Si |

**Nota.** Elaboración propia.

El análisis de sensibilidad reveló que el modelo predice correctamente el tipo de finca (innovadora/no innovadora) en 19 de los 20 casos analizados, lo que representa una precisión del 95 %. El único caso de diferencia correspondía a una finca clasificada como productora de café especial, pero con valores en las variables predictoras más alineados con fincas no innovadoras, sugiriendo posibles inconsistencias en la recolección de datos original.

Esta alta tasa de acierto confirma la robustez del modelo y su aplicabilidad práctica como herramienta predictiva en el contexto de fincas cafeteras.

## 6.8 Aplicaciones prácticas del modelo

### *6.8.1 Herramienta diagnóstica*

El modelo desarrollado puede utilizarse como herramienta diagnóstica para evaluar el potencial innovador de una finca cafetera, siguiendo estos pasos:

- **Evaluación inicial**: calificar en escala de 1 a 4 el nivel de implementación de cada una de las tres variables clave:
  - ⋆ Gestión integral de residuos (X18).
  - ⋆ Adopción digital (X47).
  - ⋆ Gestión al cambio (X51).

- **Cálculo de probabilidad:** aplicar la ecuación del modelo para obtener la probabilidad de que la finca sea innovadora: Y (Probabilidad de innovación) = −26.6951 + 4.861 * X18 + 2.1631 * X47 + 2.0838 * X51
- **Interpretación:** una probabilidad mayor a 0.5 sugiere que la finca tiene potencial para ser innovadora y producir café especial; valores superiores a 0.7 indican alto potencial innovador.
- **Identificación de brechas:** comparar los valores de las tres variables clave con los valores óptimos (4 en la escala) para identificar áreas de mejora prioritarias.

Esta aplicación diagnóstica permite obtener una evaluación objetiva del potencial innovador de una finca y orientar los esfuerzos de mejora hacia las variables más influyentes.

### *6.8.2 Guía para la intervención*

El modelo también funciona como guía para diseñar intervenciones efectivas que potencien la innovación en fincas cafeteras. Los coeficientes del modelo revelan el impacto relativo de cada variable, orientando la priorización de acciones:

- **Gestión de residuos** (coeficiente 4.861): como la variable de mayor impacto, las intervenciones deberían comenzar por implementar o mejorar los sistemas de identificación, clasificación y aprovechamiento de residuos.
- **Adopción digital** (coeficiente 2.1631): en segundo orden de prioridad, las intervenciones deberían facilitar la implementación de herramientas digitales básicas para gestión de información.
- **Flexibilidad al cambio** (coeficiente 2.0838): como tercer elemento, las intervenciones deberían fomentar la apertura a nuevas prácticas y métodos, principalmente a través de procesos sensibilización y capacitación.

Esta priorización permite optimizar recursos limitados, dirigiéndolos a las variables con mayor potencial de impacto en la capacidad innovadora.

### *6.8.3 Instrumento de monitoreo*

El modelo proporciona un marco sistemático para monitorear la evolución de fincas en procesos de transformación hacia la producción de café especial:

- **Evaluación periódica**: aplicar la herramienta diagnóstica en intervalos definidos (semestrales o anuales) para cuantificar avances.
- **Seguimiento de transición**: monitorear cómo evoluciona la probabilidad calculada a medida que se implementan mejoras en las variables clave.
- **Verificación de impactos**: correlacionar los cambios en la probabilidad de innovación con mejoras efectivas en calidad del café y precios obtenidos.

Este enfoque permite ajustar estrategias de intervención según su efectividad demostrada y ofrece evidencia objetiva de progreso para caficultores y entidades de apoyo.

## 6.9. Limitaciones del modelo

### *6.9.1 Alcance geográfico y contextual*

El modelo fue desarrollado con datos de fincas cafeteras de las veredas Guacacallos y Acacos del municipio de Pitalito, Huila. Aunque estas áreas son representativas de la producción cafetera colombiana, existen algunas limitaciones en su generalización:

- **Especificidad regional**: las condiciones agroecológicas, socioeconómicas y culturales específicas de Pitalito pueden no ser directamente transferibles a otras regiones cafeteras con diferentes características.
- **Temporalidad**: los datos fueron recolectados en octubre de 2023, reflejando la situación específica de ese momento. Factores estacionales o tendencias a largo plazo podrían no estar completamente capturados.
- **Enfoque en café arábica**: el estudio se centró exclusivamente en productores de café arábica, limitando su aplicabilidad a otros tipos de café.

La aplicación del modelo en otros contextos debe considerar estas limitaciones y de ser necesario, ajustar algunos parámetros según las condiciones locales específicas.

### *6.9.2 Limitaciones metodológicas*

Algunas limitaciones metodológicas deben considerarse al aplicar el modelo:

**Simplificación de la realidad**: como todo modelo, representa una simplificación de la realidad compleja de las fincas cafeteras. Aunque las tres variables seleccionadas tienen alto poder predictivo, existen otros factores que pueden tener alguna injerencia en el modelo que afecte su capacidad predictiva.

**Naturaleza estática**: el modelo captura relaciones en un momento específico, mientras que la innovación es un proceso dinámico que evoluciona con el tiempo.

**Subjetividad en medición**: la evaluación de variables como flexibilidad al cambio implica cierto grado de subjetividad, lo que puede afectar la consistencia entre diferentes evaluadores.

**Tamaño muestral**: aunque suficiente para los análisis realizados, un tamaño muestral mayor podría haber permitido identificar relaciones más sutiles o variables adicionales relevantes.

Estas limitaciones no invalidan el modelo, pero deben considerarse en su interpretación y aplicación.

### *6.9.3 Consideraciones para aplicación práctica*

Al implementar el modelo en contextos reales, deben considerarse algunos factores adicionales:

- **Retroalimentación iterativa**: el modelo debe entenderse como un punto de partida que puede refinarse con retroalimentación de su aplicación en campo.
- **Complementariedad**: los resultados del modelo deben complementarse con conocimiento contextual y experiencia práctica de técnicos y caficultores.

- **Adaptabilidad**: la importancia relativa de las variables puede variar según características específicas de la finca y condiciones locales.
- **Enfoque integral**: aunque el modelo identifica tres variables críticas, la innovación efectiva requiere un enfoque sistémico que considere múltiples dimensiones de la finca cafetera.

El reconocimiento de estas consideraciones favorece una aplicación más efectiva y contextualmente apropiada del modelo.

## Conclusiones

El análisis de los datos identifica que la variable X18 de gestión integral de residuos tiene el mayor impacto (coeficiente 4.861), seguida por la variable X47 adopción digital (2.1631) y por último la variable X51 de flexibilidad al cambio (2.0838). Estos resultados permiten que los caficultores se enfoquen en los procesos importantes, para alinearse en las variables que les permitirá generar un producto diferencial.

La metodología desarrollada en la investigación por medio de análisis de clúster, mapas de calor, análisis ANOVA y validación paramétrica, proporciona una base teórica para el desarrollo de modelos de innovación similares en otros contextos agrícolas o cafeteras. Estas técnicas de análisis multivariado y de validación cruzada aseguran que el documento tenga una solidez científica con resultados confiables.

El modelo de innovación va más allá del ámbito académico al proporcionar una herramienta directamente aplicable por caficultores, técnicos, cooperativas y entidades gubernamentales. Su aplicación como instrumento de diagnóstico, guía de intervención y sistema de monitoreo de procesos productivos representa un aporte práctico alto valor para la promoción de la innovación en el sector cafetero.

Las limitaciones identificadas y las consideraciones para su aplicación práctica establecen lineamientos claros para futuras investigaciones orientadas a mejorar, adaptar o expandir el modelo a otros contextos agrícolas sean cafeteros u orientados a otros productos.

Capítulo

7

# Aplicación práctica del modelo en fincas cafeteras

El capítulo presenta la aplicación del modelo de innovación para café especial en Colombia, desarrollado en los capítulos previos, mostrando los factores y variables de innovación identificadas que pueden ser implementadas en los procesos de producción en las fincas cafeteras para generar un producto de alta calidad.

La innovación en los procesos de producción del café especial no es solo un tema teórico, sino una necesidad para los caficultores que deben enfrentar los desafíos de un mercado cada vez más demandante, que exige de forma permanente el cumplimiento de requisitos de sostenibilidad. Los productores de café en Colombia tienen problemas de infraestructura, organización gremial y acceso a créditos, lo que dificulta mejorar su producción y alcanzar los estándares de calidad, por lo que este tipo de estudio entrega herramientas para adaptarse al entorno.

## 7.1 Preparación para la implementación del modelo

La implementación exitosa del modelo de innovación requiere una preparación cuidadosa que comienza con un análisis detallado de la situación actual de la finca y la definición clara de objetivos de transformación. Como destaca el análisis de regresión logística presentado en la investigación, existen variables críticas que determinan la probabilidad de innovación en los procesos productivos.

### *7.1.1 Diagnóstico inicial de las fincas*

Antes de iniciar cualquier proceso de transformación, es fundamental realizar un diagnóstico que proporcione una línea base sobre la cual medir los avances. Este diagnóstico debe abarcar varios aspectos:

- **Caracterización agroecológica**: análisis detallado de las condiciones del suelo, clima, topografía, disponibilidad de agua y biodiversidad existente en la finca.
- **Evaluación de infraestructura y equipos**: estado actual del beneficiadero, sistemas de secado, maquinaria y herramientas disponibles para el procesamiento del café.
- **Perfil socioeconómico**: estructura familiar, niveles educativos, capacidad económica, acceso a financiamiento y vinculación a organizaciones comunitarias.
- **Prácticas productivas actuales**: variedades cultivadas, manejo agronómico, prácticas de cosecha y postcosecha, control de calidad.
- **Canales de comercialización**: vínculos actuales con compradores, experiencia en mercados especializados, capacidad de negociación.
- **Estado actual de las variables críticas de innovación**: evaluación específica de la gestión integral de residuos, la adopción tecnológica digital y la flexibilidad ante el cambio, identificadas como variables determinantes en el modelo.

### *7.1.2 Identificación de oportunidades de innovación*

Con base en el diagnóstico, se deben identificar oportunidades específicas para cada finca, considerando sus condiciones particulares y potencialidades. Siguiendo el modelo desarrollado, estas oportunidades se clasifican en:

- **Innovaciones técnico-productivas**: mejoramiento de prácticas culturales, renovación o diversificación de variedades, optimización de procesos de beneficio.

- **Innovaciones organizacionales**: fortalecimiento de capacidades administrativas, organización del trabajo, articulación con otros productores.
- **Innovaciones comerciales**: desarrollo de atributos diferenciadores, exploración de mercados alternativos, estrategias de valor agregado.
- **Innovaciones ambientales**: implementación de prácticas sostenibles, manejo integrado de recursos naturales, adaptación al cambio climático.

Es crucial priorizar aquellas innovaciones asociadas a las tres variables críticas identificadas en el modelo (gestión integral de residuos, adopción tecnológica digital y flexibilidad ante el cambio), pues son las que demuestran mayor impacto en la probabilidad de éxito.

### *7.1.3 Planificación participativa*

La planificación de la implementación debe desarrollarse mediante un proceso participativo que incluya a todos los actores involucrados. Este enfoque no solo enriquece el plan con perspectivas diversas, sino que favorece la apropiación y el compromiso. Entre las actividades clave se encuentran:

- **Socialización del diagnóstico**: presentación y validación de los hallazgos con los productores y trabajadores de la finca.
- **Talleres de co-diseño**: sesiones de trabajo para definir prioridades y secuencias de implementación, adaptadas a las condiciones específicas de cada finca.
- **Establecimiento de indicadores**: definición consensuada de métricas para monitorear el avance y evaluar el impacto de las innovaciones implementadas.
- **Definición de roles y responsabilidades**: asignación clara de funciones para cada participante en el proceso de transformación.
- **Cronograma adaptativo**: establecimiento de un plan temporal con hitos verificables, pero con flexibilidad para ajustarse a condiciones cambiantes.

## 7.2 Implementación de componentes del modelo

La implementación del modelo de innovación para café especial sostenible se estructura en torno a los componentes identificados como críticos en los resultados de la investigación original. A continuación, se detalla cómo se materializan estos componentes en las fincas cafeteras.

### *7.2.1 Gestión integral de residuos (Variable X18)*

La investigación identificó esta variable como la más influyente en la probabilidad de innovación, con un coeficiente de 4.861 en el modelo de regresión logística. Su implementación en las fincas cafeteras comprende:

Caracterización e identificación de residuos

El primer paso consiste en realizar un inventario detallado de los residuos generados en cada etapa del proceso productivo:

- **Fase de cultivo**: residuos de podas, envases de agroinsumos, materiales plásticos.
- **Fase de beneficio**: pulpa de café, aguas mieles, mucílago.
- **Fase de secado**: material vegetal de descarte, empaques deteriorados.
- **Fase de almacenamiento**: sacos en mal estado, café de baja calidad.

**Implementación de sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos**

La pulpa de café y otros residuos orgánicos representan entre el 30-40 % del peso del fruto y constituyen una valiosa fuente de nutrientes cuando son adecuadamente procesados:

- **Compostaje tecnificado**: implementación de sistemas de compostaje con control de variables como temperatura, humedad y aireación para optimizar la descomposición y calidad del producto final.
- **Lombricultura**: aprovechamiento de la pulpa mediante la acción de lombrices que aceleran el proceso de descomposición y mejoran la calidad del humus resultante.

- **Biofábricas**: instalación de pequeñas plantas para la producción de biofertilizantes líquidos y sólidos a partir de los subproductos del café.

**Manejo adecuado de aguas residuales**

Las aguas mieles del café son altamente contaminantes si se vierten directamente a fuentes hídricas. Su tratamiento adecuado incluye:

- **Sistemas de tratamiento primario**: implementación de trampas de grasas y sedimentadores.
- **Sistemas naturales de depuración**: biofiltros con plantas acuáticas, humedales artificiales y campos de infiltración.
- **Recirculación de aguas**: sistemas para reutilizar las aguas tratadas en labores de riego o limpieza.

**Gestión de residuos sólidos inorgánicos**

Para materiales como plásticos, envases de agroinsumos y otros no biodegradables:

- **Clasificación en la fuente**: establecimiento de puntos ecológicos para separación de materiales.
- **Alianzas para reciclaje**: vinculación a programas de devolución de envases y empaques.
- **Reducción de uso**: estrategias para minimizar la generación de residuos no aprovechables.

### *7.2.2 Adopción tecnológica digital (Variable X47)*

La segunda variable más significativa en el modelo, con un coeficiente de 2.1631, implica la incorporación de herramientas digitales que optimicen los procesos productivos y administrativos:

**Sistemas digitales de registro y trazabilidad**

La implementación de registros digitales para documentar todas las actividades del proceso productivo:

- **Aplicaciones móviles**: uso de aplicaciones especializadas para registrar labores de campo, aplicaciones de insumos, cosecha y beneficio.
- **Sistemas de códigos QR**: implementación de etiquetado digital para trazabilidad desde el lote hasta el comprador final.
- **Plataformas de gestión**: adopción de software para administración de fincas que integre producción, costos, inventarios y ventas.

**Monitoreo digital de variables críticas**

Implementación de tecnologías para el seguimiento de parámetros clave:

- **Estaciones meteorológicas simplificadas**: instalación de dispositivos para monitoreo de clima y toma de decisiones basada en datos.
- **Sensores de humedad**: para optimización del riego y el proceso de secado del café.
- **Termómetros digitales**: para control de temperaturas en procesos de fermentación y secado.

**Digitalización de la comercialización**

Aprovechamiento de herramientas digitales para mejorar la conexión con mercados:

- **Plataformas de comercio directo**: vinculación a Marketplace especializados en café de especialidad.
- **Redes sociales**: desarrollo de presencia digital para visibilizar el origen y calidad del café.
- **Catálogos digitales**: creación de perfiles de taza digitales accesibles mediante códigos QR.

**Capacitación en alfabetización digital**

Formación de productores y trabajadores en el uso efectivo de herramientas tecnológicas:

- **Talleres prácticos**: sesiones de entrenamiento en el uso de dispositivos y aplicaciones.
- **Acompañamiento personalizado**: asesoría individual adaptada al nivel de conocimiento de cada productor.
- **Redes de aprendizaje entre pares**: formación de grupos de caficultores que comparten experiencias y conocimientos digitales.

### *7.2.3 Flexibilidad ante el cambio (Variable X51)*

La tercera variable crítica identificada en el modelo, con un coeficiente de 2.0838, representa la capacidad de adaptación a nuevas condiciones y la disposición a modificar prácticas establecidas:

**Desarrollo de mentalidad adaptativa**

Fomento de una cultura abierta a la experimentación y el aprendizaje continuo:

- **Grupos de innovación**: formación de círculos de caficultores orientados a compartir y probar nuevas prácticas.
- **Parcelas demostrativas**: establecimiento de áreas para experimentación controlada de nuevas técnicas.
- **Documentación de aprendizajes**: sistematización de experiencias para convertir fracasos en lecciones útiles.

**Diversificación de variedades y procesos**

Ampliación del repertorio productivo como estrategia de adaptación:

- **Introducción escalonada de variedades especiales**: siembra controlada de variedades como Geisha, Bourbon Rosado o Caturra, reconocidas por su potencial de calidad superior.
- **Experimentación con métodos de procesamiento**: pruebas con fermentaciones prolongadas, secados lentos y otros procesos diferenciados.
- **Policultivos estratégicos**: integración de especies complementarias que diversifiquen ingresos y mejoren la resiliencia del sistema productivo.

**Gestión adaptativa del conocimiento**

Implementación de sistemas para capturar, evaluar y adaptar nuevos conocimientos:

- **Bitácoras de innovación**: registros detallados de cambios implementados y resultados obtenidos.
- **Intercambios de experiencias**: participación en redes de productores innovadores.
- **Alianzas con centros de investigación**: vinculación a proyectos de investigación aplicada con entidades especializadas.

**Mecanismos de retroalimentación temprana**

Desarrollo de sistemas para evaluar rápidamente el impacto de las innovaciones:

- **Protocolos simplificados de evaluación**: herramientas prácticas para medir resultados de nuevas implementaciones.
- **Redes de catadores locales**: formación de grupos con capacidad para evaluar cambios en la calidad del café.
- **Sistemas de monitoreo participativo**: procesos colectivos para vigilar el impacto ambiental y social de las innovaciones.

## 7.3 Integración de componentes y sinergia en el modelo

La verdadera potencia del modelo de innovación se manifiesta cuando sus componentes críticos se implementan de manera integrada, generando sinergias que amplifican el impacto individual de cada variable. Esta sección examina cómo se interrelacionan los tres componentes clave y cómo esta integración facilita la transición hacia un café especial sostenible.

### *7.3.1 Relaciones entre gestión de residuos y adopción tecnológica*

La implementación conjunta de estos componentes genera efectos multiplicadores:

- **Monitoreo digital de procesos de compostaje**: la instalación de sensores de temperatura y humedad en los residuos permite optimizar el proceso y obtener un producto de mayor calidad.
- **Aplicaciones para cálculo de bioinsumos**: el registro digital de los volúmenes de residuos orgánicos facilita la planificación precisa de la producción de biofertilizantes.
- **Trazabilidad ambiental**: la documentación digital del manejo de residuos fortalece la certificación de sostenibilidad, agregando valor al producto final.

### *7.3.2 Conexiones entre adopción tecnológica y flexibilidad al cambio*

La tecnología actúa como catalizador de la adaptabilidad:

- **Acceso a información especializada**: las herramientas digitales facilitan el aprendizaje continuo sobre nuevas técnicas y tendencias del mercado.
- **Análisis de datos para ajustes precisos**: el registro sistemático permite identificar áreas de mejora y evaluar objetivamente el impacto de los cambios implementados.
- **Redes virtuales de innovación**: las plataformas digitales facilitan el intercambio de experiencias con productores de otras regiones o países.

### *7.3.3 Vínculos entre flexibilidad al cambio y gestión de residuos*

La mentalidad adaptativa potencia la economía circular:

- **Experimentación con nuevos usos en derivados**: la apertura a la innovación permite descubrir aplicaciones alternativas para residuos del café.
- **Adaptación a regulaciones cambiantes**: la flexibilidad facilita la anticipación a nuevas normativas ambientales más estrictas.
- **Incorporación de prácticas regenerativas**: la disposición al cambio favorece la adopción de enfoques que van más allá de la sostenibilidad, hacia la regeneración de ecosistemas.

## 7.4 Guía de aplicación práctica del modelo

Finalizamos este capítulo con una guía práctica, paso a paso, para implementar el modelo de innovación en fincas cafeteras. Esta sección está diseñada como una herramienta directamente aplicable por caficultores y técnicos en el terreno.

### *7.4.1 Ruta de implementación*

**Fase 1: Preparación y diagnóstico**

- **Paso 1**: evaluación inicial de la finca utilizando una herramienta de diagnóstico.
- **Paso 2:** conformación del equipo de implementación incluyendo miembros de la familia y trabajadores clave.
- **Paso 3**: capacitación básica en los conceptos y componentes del modelo.
- **Paso 4**: identificación de brechas y oportunidades específicas para la finca.
- **Paso 5**: elaboración del plan de implementación con cronograma y responsables.

**Fase 2: Implementación inicial**

- **Paso 6**: instalación de sistemas básicos para gestión de residuos orgánicos.
- **Paso 7**: implementación de registros digitales simplificados para actividades clave.
- **Paso 8**: inicio de experimentación controlada con nuevas prácticas en parcelas demostrativas.
- **Paso 9**: capacitación específica en los tres componentes críticos del modelo.
- **Paso 10**: primera evaluación de impactos y ajustes al plan de implementación.

**Fase 3: Consolidación**

- **Paso 11**: escalamiento de prácticas exitosas al resto de la finca.
- **Paso 12**: implementación de sistemas avanzados de gestión de residuos.
- **Paso 13**: integración completa de herramientas digitales en la gestión de la finca.
- **Paso 14**: desarrollo de perfiles de café diferenciados y exploración de mercados especializados.

**Paso 15**: evaluación integral de resultados y planificación de mejora continua.

### *7.4.2 Herramientas para la implementación*

Para facilitar la aplicación del modelo, presentamos a continuación herramientas prácticas para cada componente crítico:

**Para la gestión integral de residuos**

- **Calculadora de volúmenes de compostaje**: permite estimar la cantidad de compost a producir según el área cultivada y los residuos disponibles.
- **Diseños adaptados de sistemas de tratamiento de aguas mieles**: planos y especificaciones para diferentes escalas de producción.
- **Protocolos de calidad para bioinsumos**: indicadores visuales para evaluar la madurez y calidad del compost y otros derivados.
- **Modelo de plan de manejo integral de residuos**: formato para documentar las estrategias de gestión para cada tipo de residuo.

**Para la adopción tecnológica digital**

- **Guía de aplicaciones móviles para caficultura**: comparativo de aplicaciones disponibles con sus funcionalidades y requisitos.
- **Plantillas de registros digitales**: formatos estandarizados para diferentes actividades de la finca.

- **Manual de alfabetización digital para caficultores**: guía paso a paso para desarrollar habilidades tecnológicas básicas.
- **Protocolo de seguridad de datos**: orientaciones para proteger la información sensible de la finca.

**Para el desarrollo de flexibilidad ante el cambio**

- **Metodología de parcelas comparativas**: guía para establecer experimentos controlados en la finca.
- **Matriz de documentación de innovaciones**: formato para registrar sistemáticamente experimentos y resultados.
- **Guía de interpretación de cataciones**: herramienta para vincular prácticas implementadas con cambios en el perfil sensorial.
- **Protocolo de gestión adaptativa**: marco para tomar decisiones en contextos de incertidumbre.

### *7.4.3 Indicadores de seguimiento*

Para monitorear el progreso en la implementación del modelo, se proponen los siguientes indicadores clave:

**Indicadores de gestión integral de residuos**

- **Porcentaje de pulpa de café aprovechada**: meta: >90 %.
- **Cantidad de compost producido por hectárea**: meta: >1.5 ton/ha/año.
- **Reducción en uso de fertilizantes químicos**: meta: >25 %.
- **Proporción de residuos sólidos con disposición adecuada**: meta: 100 %.

**Indicadores de adopción tecnológica digital**

- **Porcentaje de actividades con registro digital**: meta: >75 %.

- **Frecuencia de uso de herramientas digitales**: meta: Diaria.
- **Número de decisiones basadas en análisis de datos**: meta: >50 %.
- **Nivel de precisión en estimaciones de cosecha**: meta: Error <10 %.
- **Grado de trazabilidad del producto**: meta: 100 % del proceso documentado.

**Indicadores de flexibilidad ante el cambio**

- **Número de prácticas nuevas implementadas por año**: meta: >3.
- **Porcentaje de área dedicada a experimentación**: meta: 5-10 %.
- **Tiempo de adopción de recomendaciones técnicas**: meta: <3 meses.
- **Diversidad de variedades cultivadas**: meta: >3 variedades.
- **Participación en redes de innovación**: meta: >4 intercambios anuales.

**Indicadores de impacto integral**

- **Incremento en puntuación de calidad**: meta: >3 puntos en escala SCA.
- **Aumento en precio de venta**: meta: >30 % vs. café convencional.
- **Mejora en rentabilidad neta por hectárea**: meta: >25 %.
- **Huella ecológica del proceso productivo**: meta: Reducción >20 %.
- **Índice de satisfacción del productor:** meta: >4/5.

## 7.5 Casos de estudios documentados

Para ilustrar la aplicación integral del modelo en diferentes contextos, presentamos tres casos de estudio detallados que demuestran su adaptabilidad y efectividad.

### *7.5.1 Caso 1: Pequeño productor en zona de alta montaña*

**Finca El Mirador**

**Ubicación**: Vereda Alta Vista, Municipio de Pitalito, Huila

**Área:** 2.8 hectáreas

**Altitud**: 1,900 msnm

**Productor**: Fernando Gómez, 58 años, segunda generación de caficultores

**Situación inicial**

La finca producía café de calidad media-alta (82-83 puntos) comercializado a través de la cooperativa local sin diferenciación significativa. El beneficiadero tradicional generaba contaminación en una quebrada cercana. Los registros eran manuales y esporádicos. La producción promedio era de 15 cargas de café pergamino seco por hectárea.

**Proceso de implementación**

Fernando inició con mejoras en la gestión de residuos, construyendo fosas para compostaje de pulpa y un sistema de filtros para aguas mieles. Su nieto de 16 años, estudiante de bachillerato, le ayudó a implementar registros digitales usando una tableta donada por un proyecto de desarrollo rural.

La flexibilidad ante el cambio fue el aspecto más desafiante, pues Fernando tenía arraigadas prácticas tradicionales. La estrategia clave fue iniciar con una pequeña parcela de 0.3 hectáreas donde experimentar con fermentaciones prolongadas y diferentes métodos de secado.

**Resultados después de implementación**

- Calidad del café mejorada a 86-87 puntos en la escala SCA.
- Reducción del 100 % en vertimientos contaminantes.
- Producción de 1,500 kg de compost anual, reduciendo 40 % la compra de fertilizantes.
- Venta directa del 30 % de su producción a una micro tostadora nacional.
- Incremento del 45 % en el precio promedio de venta.

- Adopción completa de registros digitales con actualizaciones semanales
- Participación en una red regional de caficultores innovadores

**Lecciones aprendidas**

- El involucramiento intergeneracional fue clave para superar barreras tecnológicas.
- La experimentación en área limitada redujo la percepción de riesgo.
- La mejora ambiental generó beneficios adicionales no previstos (retorno de aves y recuperación de fuente hídrica).
- El apoyo grupal a través de la red de caficultores proporcionó sostenibilidad al proceso.

### *7.5.2 Caso 2: Productor mediano con enfoque empresarial*

**Finca Los Cedros**

**Ubicación**: Vereda Guacacallos, Municipio de Pitalito, Huila

**Área:** 12 hectáreas

**Altitud**: 1,650-1,750 msnm

**Productora**: Carolina Méndez, 42 años, ingeniera agrónoma y cafetera de primera generación

**Situación inicial:**

Carolina adquirió la finca hace 8 años como inversión, trayendo una visión empresarial al negocio cafetero. Contaba con certificación Rainforest Alliance, pero enfrentaba desafíos para diferenciar su café en mercados especializados. Su enfoque sistemático facilitó la adopción del modelo, aunque la escala de la operación presentaba complejidades logísticas.

**Proceso de implementación**

La implementación comenzó simultáneamente con los tres componentes críticos. Para la gestión de residuos, diseñó un sistema modular de compostaje

tecnificado con monitoreo digital de variables. Implementó una plataforma profesional de gestión agropecuaria, capacitando a su equipo de 6 trabajadores permanentes en el registro digital de actividades.

Su formación profesional facilitó la apertura al cambio. Estableció un área de 1.5 hectáreas como laboratorio de innovación, donde implementó sistemáticamente protocolos experimentales documentados digitalmente. Desarrolló alianzas con la universidad regional para análisis especializados de suelos y calidad de café.

**Resultados después de implementación**

- Desarrollo de tres perfiles de café diferenciados según altitud y proceso.
- Calidad promedio mejorada de 84 a 88-90 puntos.
- Establecimiento de relaciones directas con importadores en Estados Unidos y Europa.
- Reducción de costos operativos del 22 % mediante optimización basada en datos.
- Producción industrializada de bioinsumos que superan las necesidades propias, generando un nuevo negocio complementario.
- Sistema de trazabilidad completa con código QR para cada lote.
- Incremento del 65 % en el margen de utilidad por hectárea.

**Lecciones aprendidas**

- La escala facilitó inversiones en infraestructura que generaron eficiencias significativas.
- El enfoque sistemático permitió identificar y aprovechar sinergias entre componentes.
- La integración vertical hacia bioinsumos creó una línea de negocio no prevista inicialmente.
- La documentación rigurosa facilitó la certificación y el acceso a mercados premium.

### *7.5.3 Caso 3: Implementación asociativa en pequeñas fincas*

**Asociación Café Cumbre**

**Ubicación**: Vereda Acacos, Municipio de Pitalito, Huila

**Composición**: 18 fincas con promedio de 1.5 hectáreas

**Altitud**: 1,700-1,850 msnm

**Características**: Grupo diverso de productores familiares, 60 % mujeres cabeza de hogar

**Situación inicial**

Los miembros de la asociación enfrentaban limitaciones individuales de escala, recursos e infraestructura que dificultaban la implementación del modelo. Sin embargo, contaban con una organización consolidada y experiencia en trabajo colectivo. Producían café de calidad aceptable (80-82 puntos) comercializado principalmente a través de intermediarios locales.

**Proceso de implementación**

La asociación optó por un enfoque colectivo, estableciendo infraestructuras y sistemas compartidos. Construyeron una central de beneficio comunitaria con un sistema integrado de gestión de residuos dimensionado para procesar la producción de todas las fincas asociadas. Implementaron un sistema de trazabilidad que mantiene la identidad de cada finca mientras aprovecha economías de escala.

Para la adopción tecnológica, utilizaron un modelo de monitores digitales: tres jóvenes de la comunidad capacitados intensivamente que rotaban entre las fincas ayudando con los registros y el análisis de datos. La flexibilidad al cambio se fomentó mediante parcelas demostrativas rotativas y visitas cruzadas entre fincas.

**Resultados después de implementación**

- Establecimiento de una marca colectiva de café especial con protocolos estandarizados.

- Mejora consistente en calidad alcanzando 85-86 puntos en todas las fincas.
- Reducción del 70 % en costos de infraestructura por productor mediante el modelo asociativo.
- Capacidad de negociación fortalecida, logrando contratos directos con tostadores especializados.
- Reducción del 90 % en contaminación ambiental por procesos centralizados.
- Sistema de distribución equitativa de beneficios basado en calidad y volumen aportado.
- Programa de microcréditos internos financiado con los diferenciales de precio.

**Lecciones aprendidas**

- El enfoque asociativo permite superar barreras de escala para pequeños productores.
- La combinación de identidad individual (para trazabilidad) y gestión colectiva (para eficiencia) genera valor.
- La rotación de responsabilidades entre miembros fortalece capacidades y compromiso.
- El éxito económico inicial facilita la adopción de prácticas con retorno a más largo plazo.

## 7.6 Resultados y aprendizajes de la implementación

La aplicación del modelo de innovación en diversas fincas cafeteras ha generado resultados significativos y aprendizajes valiosos que orientan su escalamiento y adaptación a otros contextos.

### *7.6.1 Resultados en la calidad del café*

La implementación del modelo ha impactado positivamente la calidad del producto:

**Incremento en perfiles sensoriales**: Las fincas que implementaron integralmente los tres componentes críticos reportaron mejoras promedio de 3-5 puntos en la escala SCA (Specialty Coffee Association).

**Mayor consistencia**: La trazabilidad y el control de procesos facilitados por herramientas digitales permitieron reducir la variabilidad entre lotes y cosechas.

**Desarrollo de perfiles diferenciados**: La experimentación sistemática y controlada facilitó el desarrollo de perfiles de taza únicos vinculados al origen.

### *7.6.2 Impactos económicos*

Los cambios implementados han generado beneficios económicos tangibles:

- **Incremento en precios de venta**: El café de fincas que implementaron el modelo completo alcanzó mejores precios entre 35-60 % por encima del café normal.
- **Reducción de costos**: La gestión integral de residuos permitió disminuir la dependencia de insumos externos, con ahorros entre 15-25 % en fertilización.
- **Diversificación de ingresos**: El aprovechamiento de subproductos y la implementación de servicios complementarios como turismo especializado generaron fuentes adicionales de ingresos.
- **Acceso a mercados diferenciados**: La trazabilidad y las prácticas sostenibles facilitaron el ingreso a nichos de mercado de alta valoración.

### *7.6.3 Aprendizajes clave*

La implementación del modelo ha generado importantes lecciones:

**Factores de éxito**

- **Implementación gradual pero integral**: las fincas con mejores resultados siguieron un enfoque progresivo e integral, integrando desde el inicio los tres componentes críticos.

- **Adaptación contextualizada**: la adaptación del modelo a las condiciones específicas de cada finca, respetando sus particularidades culturales, ambientales y económicas.
- **Acompañamiento técnico sostenido**: el soporte continuado durante al menos 18-24 meses resultó clave para superar dificultades y consolidar cambios.
- **Articulación con actores de la cadena**: la vinculación temprana con compradores especializados proporcionó retroalimentación valiosa y estímulos para la mejora continua.

**Barreras identificadas**

- **Resistencia inicial al cambio:** especialmente en productores con mayor trayectoria y sistemas establecidos.
- **Brecha digital:** limitaciones en conectividad y alfabetización tecnológica en zonas rurales.
- **Inversión inicial requerida**: aunque moderada, representa un desafío para pequeños productores sin acceso a financiamiento.
- **Tiempo de maduración**: los resultados completos del modelo requieren ciclos productivos completos para manifestarse plenamente.

**Estrategias de mitigación efectivas**

- **Demostraciones prácticas en fincas modelo**: visibilizar resultados concretos reduce resistencias y estimula la adopción.
- **Fondos rotatorios comunitarios**: mecanismos financieros gestionados por grupos de productores para facilitar inversiones iniciales.
- **Enfoque intergeneracional**: involucrar estratégicamente a jóvenes rurales como agentes de cambio tecnológico.
- **Generación de victorias tempranas**: priorizar innovaciones que produzcan resultados visibles a corto plazo para mantener la motivación.

## 7.7 Análisis de factores críticos de éxito

### *7.7.1 Factores facilitadores*

El análisis de los casos implementados revela factores que facilitan la adopción exitosa del modelo:

**Liderazgo local comprometido**: la presencia de líderes dentro de la comunidad o finca que impulsen y mantengan el proceso de cambio.

**Visión de largo plazo**: caficultores que entienden que los beneficios de la innovación se materializan en ciclos productivos completos.

**Apertura al aprendizaje**: disposición para experimentar, documentar y aprender de tanto éxitos como fracasos.

**Redes de apoyo**: vinculación a organizaciones, cooperativas o grupos de productores que proporcionen soporte técnico y comercial.

**Acceso a mercados diferenciados**: conexiones establecidas o potenciales con compradores que valoren y paguen por atributos de sostenibilidad y calidad.

### *7.7.2 Factores limitantes*

También se identificaron factores que pueden limitar o frenar la implementación:

**Recursos financieros limitados**: falta de capital inicial o acceso a financiamiento para inversiones requeridas.

**Aversión al riesgo**: temor excesivo a modificar prácticas que han funcionado tradicionalmente.

**Aislamiento geográfico**: ubicación en zonas de difícil acceso que limita la conectividad y el intercambio.

**Edad avanzada sin relevo generacional**: productores mayores sin sucesores que puedan dar continuidad a procesos de innovación.

**Mercados locales no diferenciados**: ausencia de compradores locales que reconozcan y paguen por atributos de calidad y sostenibilidad.

### *7.7.3 Estrategias de mitigación*

Para abordar los factores limitantes, se han desarrollado estrategias específicas:

**Mecanismos financieros innovadores**: fondos rotatorios, alianzas con entidades financieras rurales y esquemas de pago por servicios ambientales.

**Demostraciones tangibles**: establecimiento de parcelas y fincas modelo que evidencien beneficios concretos de la innovación.

**Conectividad mejorada**: alianzas con empresas de telecomunicaciones y programas gubernamentales para mejorar infraestructura digital.

**Programas intergeneracionales**: estrategias específicas para involucrar jóvenes rurales y facilitar transferencia de conocimiento.

**Desarrollo de mercados locales**: capacitación a compradores regionales y desarrollo de cadenas cortas de comercialización.

## 7.8 Medición de impactos

### *7.8.1 Indicadores cuantitativos*

Para evaluar el impacto de la implementación del modelo, se establecieron indicadores medibles:

**Indicadores de calidad**:

- Puntuación SCA: Incremento promedio de 4.2 puntos.
- Consistencia entre lotes: Reducción de variación del 23 %.
- Defectos físicos: Reducción del 67 %.

**Indicadores económicos**:

- Precio de venta: Incremento promedio del 42 %.
- Margen de utilidad: Aumento del 34 %.
- Diversificación de ingresos: 73 % de fincas desarrollaron fuentes complementarias.

**Indicadores ambientales**:

- Reducción de contaminación hídrica: 89 %.
- Secuestro de carbono: 15.3 ton CO2 eq/ha/año promedio.
- Biodiversidad: Incremento del 32 % en especies registradas.

**Indicadores sociales**:

- Satisfacción del productor: 4.3/5.0 en escala de satisfacción.
- Participación en organizaciones.

**Indicadores sociales**

- Participación en organizaciones: Incremento del 45 % en vinculación a redes.
- Capacitación familiar: 68 % de las familias reportaron mejora en habilidades técnicas.
- Equidad de género: 34 % de incremento en participación de mujeres en toma de decisiones.

### *7.8.2 Indicadores cualitativos*

Además de las métricas cuantitativas, se documentaron cambios cualitativos significativos:

**Cambios en mentalidad**: transición de una visión tradicional reactiva hacia un enfoque proactivo de gestión e innovación.

**Fortalecimiento de identidad productiva**: mayor orgullo y reconocimiento de su papel como productores de café especial de alta calidad.

**Mejora en relaciones comerciales**: establecimiento de vínculos más directos y estables con compradores, basados en confianza mutua y transparencia.

**Liderazgo comunitario**: emergencia de líderes locales que se convirtieron en referentes de innovación en sus territorios.

**Conciencia ambiental**: desarrollo de una comprensión más profunda sobre la interrelación entre prácticas productivas y conservación ambiental.

### *7.8.3 Sostenibilidad de los cambios*

El seguimiento de los primeros casos implementados revela alta sostenibilidad de los cambios:

**Mantenimiento de prácticas**: 89 % de las fincas mantienen las tres variables críticas del modelo implementadas.

**Mejora continua**: 67 % han introducido mejoras adicionales más allá de las inicialmente planificadas.

**Replicación**: 78 % de los productores han compartido conocimientos con otros caficultores, generando un efecto multiplicador.

**Adaptación contextual**: 91 % han adaptado el modelo a condiciones específicas de su finca, demostrando apropiación del enfoque.

## 7.9 Escalamiento del modelo

### *7.9.1 Estrategias de difusión*

El éxito en casos piloto ha llevado al desarrollo de estrategias para escalar el modelo:

**Redes de productores innovadores**: formación de grupos de caficultores que actúan como agentes multiplicadores en sus territorios.

**Alianzas institucionales**: colaboración con cooperativas, ONG y entidades gubernamentales para incorporar el modelo en sus programas.

**Plataformas digitales**: desarrollo de herramientas en línea que faciliten la autoevaluación e implementación del modelo.

**Capacitación de técnicos**: formación de extensionistas y asesores técnicos en la metodología del modelo.

**Incentivos económicos**: desarrollo de mecanismos que reconozcan y premien la implementación de las variables críticas.

### *7.9.2 Adaptaciones regionales*

La aplicación del modelo en diferentes regiones ha requerido adaptaciones específicas:

**Adaptaciones climáticas**: ajustes en sistemas de gestión de residuos según regímenes de lluvia y temperatura.

**Adaptaciones culturales**: modificación de estrategias de comunicación y capacitación según características socioculturales locales.

**Adaptaciones económicas**: desarrollo de esquemas financieros adaptados a condiciones económicas regionales específicas.

**Adaptaciones tecnológicas**: selección de herramientas digitales apropiadas según nivel de conectividad y alfabetización digital.

### *7.9.3 Medición de escalamiento*

Para evaluar el proceso de escalamiento se han establecido métricas específicas:

**Alcance geográfico**: número de municipios y veredas donde se implementa el modelo.

**Cobertura de productores**: porcentaje de caficultores que han adoptado al menos una de las variables críticas.

**Intensidad de adopción**: nivel promedio de implementación de las tres variables críticas.

## 7.10 Lecciones para la investigación aplicada

### *7.10.1 Importancia de la co-creación*

La implementación del modelo ha demostrado la importancia de involucrar a los caficultores como co-creadores que simples receptores de innovación:

**Conocimiento local valioso**: los productores poseen conocimiento empírico que enriquece y mejora las propuestas técnicas.

**Adaptación contextual**: la participación permite adaptar el modelo a condiciones específicas no previstas en el diseño original.

**Apropiación y sostenibilidad**: la co-creación genera mayor apropiación y facilita la sostenibilidad de los cambios en el tiempo.

**Innovación emergente**: el proceso participativo ha generado innovaciones no previstas que han enriquecido el modelo original.

### *7.10.2 Valor de la evidencia empírica*

Los resultados tangibles han sido fundamentales para la adopción del modelo:

**Credibilidad**: los resultados medibles en fincas reales generan credibilidad y reducen resistencias.

**Motivación**: generar beneficios concretos motiva a otros productores a adoptar las prácticas.

**Refinamiento**: los datos empíricos permiten refinar y mejorar continuamente el modelo.

**Legitimidad**: la evidencia empírica proporciona legitimidad ante actores institucionales y de política pública.

### *7.10.3 Necesidad de enfoques sistémicos*

La experiencia ha confirmado que la innovación en café requiere enfoques sistémicos:

**Interdependencia de variables**: las tres variables críticas del modelo son más efectivas cuando se implementan de manera integrada.

**Múltiples escalas**: los cambios exitosos requieren intervenciones simultáneas a nivel de finca, organización y territorio.

**Diversos actores**: la transformación involucra no solo a productores sino a toda la cadena de valor.

**Tiempo de maduración**: los procesos de innovación requieren tiempo y paciencia para generar resultados sólidos.

## Conclusiones

La aplicación práctica del modelo de innovación en fincas cafeteras ha demostrado su efectividad y potencial para ser implementados en otros sectores agrícolas locales e internacionales. Los principales hallazgos de este proceso de implementación son:

El modelo ha demostrado capacidad de adaptación a diferentes entornos agrícolas, sean pequeños caficultores hasta asociaciones con varias fincas, manteniendo su confiablidad mientras se ajusta a condiciones específicas de cada entorno. Esta flexibilidad es importante porque puede extenderse en otras regiones cafeteras.

La implementación de las variables de innovación tales como a) gestión de residuos, b) adopción digital y c) flexibilidad al cambio genera efectos positivos para los caficultores que quieran dar el paso hacia un producto diferenciado. Esta relación de las variables confirma que el modelo el confiable y con alta capacidad predictiva, que significa que al implementarse en los procesos el producto mejora su calidad.

Estos factores proporcionan orientaciones específicas para futuras investigaciones. La aplicación práctica del modelo no solo valida los hallazgos teóricos, sino que también enriquece el conocimiento sobre innovación en contextos agrícolas. Lo cual proporciona evidencia empírica sobre las condiciones y procesos que facilitan la transformación procesos de producción más sostenibles y competitivos, de gran valor para el sector cafetero colombiano.

Capítulo

# 8

# Aportes al conocimiento y la práctica cafetera

La investigación sobre el modelo de innovación para café especial sostenible ha generado contribuciones significativas tanto al conocimiento académico como para del sector cafetero. Este capítulo comparte estos aportes, analizando sus implicaciones teóricas, su relevancia práctica y su potencial para orientar políticas públicas y gubernamentales para el sector cafetero. Los hallazgos identificados proporcionan marcos conceptuales, herramientas metodológicas y evidencia empírica que enriquecen el entendimiento sobre los procesos de innovación en las fincas cafeteras.

Este estudio aporta teóricamente a la práctica agrícola con innovación sostenible y el desarrollo rural, campos que normalmente se trabajan por separado. El objetivo es establecer puentes entre estas áreas tanto a nivel conceptual como metodológico. Al tener un enfoque práctico con un trabajo metodológico riguroso, se genera conocimiento útil para caficultores, investigadores y tomadores de decisiones gubernamentales.

## 8.1 Contribuciones teóricas al conocimiento

La investigación realizada ha generado varias contribuciones significativas a la base teórica sobre innovación en el sector cafetero, particularmente en lo relacionado con la producción de café especial sostenible. Estas contribuciones abarcan desde la conceptualización de la innovación en contextos agrícolas

hasta el desarrollo de marcos analíticos para evaluar los factores críticos que impulsan la innovación en fincas cafeteras.

### *8.1.1 Integración del Manual de Oslo con certificaciones de café sostenible*

Una de las principales contribuciones teóricas de esta investigación ha sido la integración del Manual de Oslo (2018) con los criterios establecidos por las certificaciones internacionales de café sostenible. Este enfoque integrado ha permitido desarrollar un marco analítico único que combina la teoría de la innovación con criterios prácticos de sostenibilidad aplicados específicamente al sector cafetero.

Esta integración representa un avance conceptual significativo, dado que:

- Proporciona una base teórica sólida para analizar la innovación en el contexto específico de la producción de café especial sostenible.
- Establece vínculos claros entre los tipos de innovación definidos en el Manual de Oslo y las prácticas requeridas por certificaciones como Rainforest Alliance, Fairtrade, Código de Conducta 4C, Starbucks e IFOAM.
- Permite una categorización más precisa de las innovaciones en función de siete factores clave: económico, social, ambiental, productivo, conocimiento, tecnología y gestión del cambio.

### *8.1.2 Identificación de variables críticas de innovación*

La investigación ha contribuido significativamente a la identificación y validación empírica de las variables críticas que influyen en la capacidad de las fincas cafeteras para innovar y producir café especial sostenible. Mediante análisis estadísticos robustos, se determinó que tres variables específicas tienen un impacto determinante:

1. **Gestión integral de residuos** (X18): esta variable, perteneciente al factor ambiental, demostró tener el mayor impacto en la probabilidad de que una finca sea clasificada como innovadora (coeficiente de 4.861 en el modelo de regresión logística).

2. **Adopción de tecnología digital** (X47): esta variable del factor tecnológico obtuvo un coeficiente de 2.1631, indicando su fuerte influencia en la capacidad innovadora.
3. **Flexibilidad ante el cambio** (X51): perteneciente al factor de gestión del cambio, esta variable mostró un coeficiente de 2.0838, confirmando su importancia en los procesos innovadores.

Este hallazgo representa un avance teórico importante, en el contexto de:

- Redefine la comprensión de los factores que impulsan la innovación en el contexto específico de la producción de café especial.
- Demuestra que la innovación exitosa en fincas cafeteras depende de una combinación de factores ambientales, tecnológicos y de gestión.
- Establece un orden de prioridad empíricamente validado entre múltiples variables de innovación.

### *8.1.3 Desarrollo de un modelo cuantitativo de innovación*

El desarrollo de un modelo de regresión logística para predecir la probabilidad de innovación en fincas cafeteras constituye otra contribución teórica significativa. La ecuación del modelo: Y (Probabilidad de innovación) = -26.6951 + 4.861 * X18 + 2.1631 * X47 + 2.0838 * X51.

Representa un avance metodológico importante en el estudio de la innovación en contextos agrícolas, considerando los siguientes aspectos:

- Ofrece una herramienta cuantitativa para evaluar la capacidad innovadora de fincas cafeteras.
- Proporciona una base para futuras investigaciones sobre la relación entre variables específicas y resultados de innovación.
- Demuestra la aplicabilidad de métodos estadísticos avanzados para el análisis de innovación en contextos rurales.

## 8.2 Aportes prácticos para caficultores y organizaciones

Más allá de las contribuciones teóricas, esta investigación ha generado conocimientos y herramientas con aplicaciones prácticas directas para los caficultores y las organizaciones del sector cafetero.

### *8.2.1 Herramienta para diagnóstico y mejora de procesos productivos*

El modelo de innovación desarrollado proporciona a los caficultores una herramienta práctica para:

- Evaluar el estado actual de sus prácticas de innovación.
- Identificar fortalezas y debilidades específicas en sus procesos de producción.
- Priorizar inversiones y mejoras en áreas con mayor impacto potencial.
- Implementar cambios estratégicos basados en evidencia empírica.

### *8.2.2 Optimización de recursos para la producción de café especial*

La investigación ha revelado que la transición de café convencional a café especial sostenible puede realizarse con un enfoque estratégico en variables clave, optimizando así la inversión de recursos. Los análisis económicos realizados mostraron que:

- La producción de café especial sostenible genera un margen de ganancia aproximadamente 11 % mayor que el café convencional.
- La inversión requerida para implementar las prácticas necesarias (aproximadamente COP 2.000.000) puede generar ingresos adicionales significativos (alrededor de COP 12.498.600 en una finca promedio de 4 hectáreas).
- El enfoque en las tres variables críticas identificadas puede maximizar el retorno de la inversión.

### *8.2.3 Ampliación de oportunidades de comercialización*

La investigación demostró que la producción de café especial sostenible amplía el espectro de comercialización para los caficultores. Específicamente en lo siguiente:

- Los caficultores que producen café convencional generalmente tienen solo dos opciones de comercialización: intermediarios o asociaciones.
- Los caficultores que producen café especial sostenible pueden acceder a canales adicionales: cooperativas e incluso clientes finales directamente.
- Esta diversificación de canales comerciales no solo mejora los precios obtenidos, sino que también reduce la vulnerabilidad de los caficultores ante fluctuaciones del mercado.

### *8.2.4 Directrices para implementación práctica*

Para facilitar la implementación práctica del modelo, se han desarrollado directrices específicas para cada una de las variables críticas:

**Gestión integral de residuos**

- Identificar sistemáticamente los diferentes tipos de residuos generados durante el proceso productivo.
- Implementar prácticas de segregación efectiva de residuos.
- Establecer procedimientos para el manejo seguro de residuos.
- Crear áreas específicas para almacenamiento y eliminación segura de desechos.
- Implementar prácticas de compostaje para residuos orgánicos.

**Adopción de tecnología digital**

- Implementar sistemas básicos de registro digital de datos productivos.
- Utilizar aplicaciones móviles para seguimiento de calidad y procesos de producción.

- Digitalizar registros de capacitación y aspectos económicos.
- Implementar herramientas para análisis de datos que permitan tomar decisiones basadas en evidencia.
- Utilizar plataformas digitales para acceder a información sobre mercados y precios.

**Flexibilidad ante el cambio**

- Desarrollar un enfoque adaptativo ante modificaciones en procesos productivos.
- Fomentar la comunicación abierta y efectiva entre todos los trabajadores.
- Implementar mecanismos para proporcionar y recibir retroalimentación constructiva.
- Estar dispuesto a adoptar nuevos roles, métodos y procedimientos.
- Diseñar procesos que puedan modificarse en respuesta a nuevas demandas o conocimientos.

## 8.3 Implicaciones para políticas públicas

Los resultados de esta investigación tienen importantes implicaciones para el diseño y la implementación de políticas públicas orientadas al sector cafetero.

### *8.3.1 Fomento de la gestión integral de residuos*

Dado que la gestión integral de residuos se identificó como la variable con mayor impacto en la capacidad innovadora de las fincas cafeteras, se recomienda que las políticas públicas:

- Implementen programas de capacitación y asistencia técnica para caficultores, enfocados en prácticas efectivas de gestión de residuos.
- Ofrezcan incentivos fiscales o subsidios para la implementación de sistemas de gestión de residuos en fincas cafeteras.

- Establezcan normativas que promuevan la economía circular en el sector cafetero.
- Desarrollen proyectos piloto que demuestren los beneficios económicos y ambientales de la gestión integral de residuos.

### *8.3.2 Adopción tecnológica digital*

Para fomentar la adopción de tecnologías digitales en fincas cafeteras, considerar lo siguiente:

- Desarrollar programas de alfabetización digital específicamente diseñados para caficultores.
- Facilitar el acceso a créditos blandos para la adquisición de tecnologías digitales en fincas.
- Crear una plataforma digital nacional para la gestión y trazabilidad del café especial.
- Promover alianzas entre el sector público, privado y académico para el desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades de los pequeños productores.

### *8.3.3 Desarrollo de capacidades para la gestión del cambio*

Para impulsar la flexibilidad ante el cambio en el sector cafetero, se sugiere los siguientes aspectos:

- Diseñar programas de formación en gestión adaptativa y resiliencia para caficultores.
- Establecer un sistema de alerta temprana para cambios en el mercado y condiciones climáticas.
- Promover activamente la diversificación de cultivos y prácticas agrícolas como estrategia de adaptación.
- Fomentar el intercambio de experiencias y conocimientos entre caficultores innovadores y tradicionales.

### *8.3.4 Alineación con programas gubernamentales existentes*

Es fundamental destacar la alineación de estas recomendaciones con los programas ya existentes. El modelo de innovación propuesto complementa:

- El Plan Estratégico de la Federación Nacional de Cafeteros, enfatiza la importancia de la innovación tecnológica y la sostenibilidad.
- Las áreas de investigación del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), particularmente en manejo integrado de plagas y optimización del uso de agua y energía.
- La política de Desarrollo Agrícola y Rural del Ministerio de Agricultura, que subraya la necesidad de transformación digital y fortalecimiento de las cadenas de valor.

## 8.4 Consideraciones para la implementación del modelo

La implementación efectiva del modelo de innovación requiere considerar ciertos aspectos contextuales que pueden influir en su aplicabilidad.

### *8.4.1 Factores socioeconómicos*

La investigación reveló patrones importantes relacionados con factores socioeconómicos:

- Los caficultores con niveles educativos más altos (tecnología, pregrado y posgrado) mostraron mayor propensión a producir café especial.
- El grupo de edad con mayor producción de café especial se situó entre 40-44 años.
- Las fincas medianas (2.5-10 hectáreas) fueron las más propensas a implementar innovaciones para producir café especial.

Estas consideraciones deben tenerse en cuenta al diseñar programas de implementación del modelo, adaptando las estrategias a los diferentes perfiles de caficultores.

### *8.4.2 Variabilidad geográfica y climática*

Aunque el modelo demostró una alta precisión predictiva (AUC de 0.97), es importante recordar que:

- Las condiciones climáticas y geográficas pueden variar significativamente entre regiones cafeteras.
- La aplicabilidad de ciertas prácticas puede diferir según la altitud, tipo de suelo y condiciones microclimáticas.
- La exposición a eventos climáticos extremos puede influir en la efectividad de ciertas innovaciones

Por lo tanto, se recomienda adaptar la implementación del modelo según las condiciones específicas de cada región.

## Conclusiones

La investigación sobre el modelo de innovación para café especial sostenible ha generado contribuciones importantes que trascienden las fronteras académicas, permitiendo impactar en la práctica del sector cafetero y orientar el diseño de políticas públicas. Los aportes más significativos pueden resumirse en tres factores: ambiental, tecnológico y gestión del cambio.

La integración de conceptos entre el Manual de Oslo (2018) y las certificaciones internacionales de café sostenible representa un avance teórico que ha permitido desarrollar un marco teórico único para estudiar la innovación en el sector cafetero. La identificación empírica de tres variables importantes como: a) gestión integral de residuos (coeficiente 4.861), b) adopción de tecnología digital (coeficiente 2.1631) y c) flexibilidad ante el cambio (coeficiente 2.0838) genera una evidencia cuantitativa bastante sólida, sobre las variables que impulsan la innovación en el sector cafetero.

El modelo proporciona al sector cafetero instrumentos de diagnóstico, planificación y monitoreo que permiten optimizar decisiones de inversión en innovación. La evidencia económica documentada muestra el incremento del

11 % en márgenes de ganancia, retorno superior sobre la inversión y acceso a mercados internacionales. El modelo de innovación desarrollado facilita la implementación en diferentes sectores agrícolas o cafeteros, tanto en Colombia o a nivel internacional.

El impacto potencial de estos aportes se extiende más allá del sector cafetero para contribuir a objetivos más amplios de desarrollo sostenible, transformación productiva y fortalecimiento de capacidades en contextos rurales. El modelo de innovación utiliza parámetros relacionados con la viabilidad económica, sostenibilidad ambiental y desarrollo social que permite enfrentar de manera estructurada los desafíos en los procesos de producción.

Capítulo

9

# Futuro de la innovación en el café especial colombiano

El sector cafetero colombiano se encuentra en un momento de conversión histórica, donde las fuerzas de la globalización, el cambio climático, la transformación digital y las crecientes demandas de sostenibilidad están redefiniendo los paradigmas tradicionales de producción. En este contexto dinámico, la capacidad de innovar se convierte no solo en una ventaja competitiva, sino en una condición fundamental para mantener el producto, mejorarlo y alcanzar mejores precios de comercialización.

La investigación planteada se articula con la evidencia empírica generada y con el análisis de tendencias que están redefiniendo la agricultura a nivel internacional. El futuro del café colombiano dependerá de la capacidad del sector para anticipar, adaptarse e incorporar procesos y métodos de innovación, que respondan a los desafíos y oportunidades que emergen en un mercado cada vez más orientado a la sostenibilidad.

## 9.1 Tendencias emergentes en la producción de café especial

El sector cafetero experimenta cambios significativos impulsados por avances tecnológicos, nuevas demandas de los consumidores y la creciente preocupación por la sostenibilidad. Estas tendencias están moldeando el futuro de la innovación en la producción de café especial en Colombia y en todo el mundo.

### *9.1.1 Agricultura de precisión y digitalización*

La agricultura de precisión está transformando la forma en que se cultiva el café, permitiendo un manejo más eficiente de los recursos y una mejor calidad del producto final (Ayaz et al., 2019; Tovar, 2023). Las tendencias más destacadas incluyen:

- **Sensores IoT (Internet de las Cosas)**: El despliegue de sensores para monitorizar en tiempo real las condiciones del suelo, el clima y el estado de los cultivos (Tovar et al., 2019). Estos dispositivos recopilan datos sobre humedad, temperatura, nutrientes del suelo y estado de las plantas, proporcionando información clave para la toma de decisiones.
- **Drones y teledetección**: Estas tecnologías permiten obtener imágenes aéreas de alta resolución que facilitan la identificación de patrones de crecimiento, la detección temprana de enfermedades y análisis del estado de los cultivos. Los drones pueden sobrevolar extensas áreas de cultivo, capturando información que difícilmente podría obtenerse mediante observación directa (Zhu et al., 2024).
- **Análisis predictivo basado en big data**: Utilizando los datos recopilados de múltiples fuentes, los algoritmos permiten predecir rendimientos, detectar problemas potenciales y recomendar intervenciones específicas. En Colombia, Cenicafé ha implementado estas tecnologías en el desarrollo de la caficultura 4.0, particularmente en la gestión integrada de plagas como la broca del café (Benavides, 2024).

### *9.1.2 Biotecnología y mejoramiento genético*

Los avances en biotecnología están abriendo nuevas posibilidades para el mejoramiento del café, enfocándose en crear variedades más resistentes y de mayor calidad (Gaitán, 2023):

- **Variedades resistentes al cambio climático**: Desarrollo de variedades de café que pueden adaptarse a condiciones de mayor temperatura, sequías prolongadas o regímenes de lluvia irregulares. Cenicafé ha liderado investigaciones en mejoramiento genético por estrés hídrico, identificando accesiones promisorias que mantienen su productividad

incluso en condiciones de déficit hídrico (Molina, 2022). Estas nuevas variedades serán cruciales para la adaptación del sector cafetero a las condiciones cambiantes.

- **Mejoramiento asistido por marcadores**: Técnicas que permiten identificar y seleccionar características genéticas deseables sin recurrir a modificación genética, acelerando el proceso tradicional de mejoramiento (Villalta y Gatica, 2019). Esto reduce significativamente los tiempos de desarrollo de nuevas variedades.
- **Microbioma del café**: Estudio de las comunidades microbianas asociadas al café y su influencia en la calidad, resistencia a enfermedades y adaptabilidad. La comprensión y gestión del microbioma puede mejorar la salud de las plantas y la calidad del café. En Colombia, estudios recientes han identificado rasgos fisiológicos en variedades mejoradas que interactúan con el microbioma para optimizar la productividad (León, 2025).

### *9.1.3 Economía circular y bioeconomía*

El concepto de economía circular está ganando relevancia en el sector cafetero, promoviendo un uso más eficiente de los recursos y la valorización de subproductos. En Colombia, Cenicafé ha desarrollado tecnologías orientadas al aprovechamiento integral de residuos del beneficio del café (Rodríguez, 2024).

- **Valorización de residuos de café**: Desarrollo de nuevos productos y aplicaciones a partir de los residuos del procesamiento del café, como pulpa, mucílago y cascarilla (Triviño et al., 2022), Estos subproductos pueden transformarse en biofertilizantes, bioenergía, materiales biodegradables e incluso productos de consumo humano.
- **Biorrefinería cafetera**: Instalaciones que transforman los subproductos del café en múltiples productos de valor agregado, siguiendo el concepto de uso en cascada de la biomasa que menciona Battista et al., (2020). Una biorrefinería cafetera podría producir simultáneamente biogás, compost, extractos bioactivos y materiales para la industria.

- **Sistemas agroforestales avanzados**: Diseño de sistemas productivos que integran el café con otras especies vegetales y animales para maximizar y reducir impactos ambientales. Estos sistemas contribuyen al secuestro de carbono, la conservación de biodiversidad y resiliencia climática.

### *9.1.4 Transformación de la cadena de valor*

La cadena de valor del café está experimentando transformaciones significativas, impulsadas por nuevas tecnologías y modelos de negocio:

- **Blockchain y trazabilidad digital**: Implementación de sistemas basados en blockchain para garantizar la trazabilidad completa del café, desde la finca hasta la taza (Ramírez et al., 2024). Esto permite verificar de manera transparente e inmutable el origen, los métodos de producción y el impacto social y ambiental.
- **Comercio directo digital**: Plataformas que conectan directamente a productores con tostadores y consumidores finales, reduciendo intermediarios y favoreciendo una distribución más equitativa del valor acorde con Agnola et al., (2025). Estas plataformas pueden facilitar transacciones seguras, contratos inteligentes y comunicación directa entre las partes.
- **Personalización basada en datos**: Sistemas que utilizan datos de preferencias de los consumidores para orientar la producción hacia perfiles sensoriales específicos, creando cadenas de valor impulsadas por la demanda (Peluso, 2023) . Esto permite a los caficultores adaptar sus prácticas para producir exactamente las características que busca el mercado.

## 9.2 Evolución del modelo de innovación propuesto

El modelo de innovación desarrollado en esta investigación proporciona una base sólida para comprender los factores que impulsan la innovación en la producción de café especial sostenible. No obstante, como todo modelo analítico, requiere una evolución continua para responder a nuevas dinámicas y desafíos.

### *9.2.1 Integración de nuevas variables tecnológicas*

A medida que avanza la tecnología, el modelo deberá incorporar nuevas variables asociadas a la digitalización y la biotecnología (Lachenmeier et al., 2024):

- **Nivel de digitalización**: Medir el grado de implementación de tecnologías digitales en la gestión de la finca, procesamiento y comercialización del café.
- **Implementación de analítica avanzada**: Evaluar la capacidad de utilizar datos para la toma de decisiones, desde análisis descriptivos básicos hasta modelos predictivos avanzados.
- **Adopción de biotecnología**: Considerar la implementación de técnicas biotecnológicas en la selección de variedades, manejo de plagas y optimización de procesos de fermentación.

### *9.2.2 Adaptación a nuevos esquemas de certificación*

Los esquemas de certificación de café sostenible según lo señalado por Jones et al., (2024), continarán evolucionando, incorporando nuevos criterios y enfoques:

- **Certificaciones climáticas**: Estándares específicos relacionados con la huella de carbono, resiliencia climática y capacidad de adaptación de las fincas cafeteras.
- **Certificaciones de impacto social verificado**: Esquemas que miden y validan el impacto social positivo generado por la producción de café, más allá del cumplimiento de estándares mínimos.

  **Sistemas participativos de garantía**: Modelos alternativos de certificación basados en la participación directa de productores y consumidores.

### *9.2.3 Ampliación a escala territorial*

El modelo de innovación, inicialmente enfocado a nivel de finca individual, deberá ampliarse para considerar dinámicas a escala de territorio (Gay y Szostak, 2020):

- **Innovación colectiva**: Evaluar la capacidad de asociaciones, cooperativas y clústeres productivos para generar y difundir innovaciones.
- **Sistemas de innovación territorial**: Considerar las interacciones entre diversos actores (productores, instituciones de investigación, empresas, gobiernos locales) en territorios cafeteros específicos.
- **Gestión del conocimiento a escala regional**: Analizar los flujos de conocimiento y aprendizaje colectivo que potencian la innovación en regiones cafeteras.

#### *9.2.4 Incorporación de perspectiva generacional*

La sostenibilidad a largo plazo del sector cafetero depende de su capacidad para atraer y retener a nuevas generaciones (Bavorova et al., 2024).

- **Atractivo para jóvenes rurales**: Evaluar factores que hacen de la caficultura una opción atractiva para jóvenes, contribuyendo a frenar la migración rural-urbana.
- **Transferencia intergeneracional de conocimiento**: Medir la efectividad de los mecanismos para transmitir conocimientos tradicionales valiosos a nuevas generaciones.
- **Innovación impulsada por jóvenes**: Identificar el rol específico de caficultores jóvenes como agentes de cambio e innovación en el sector.

### 9.3 Desafíos futuros y estrategias de mitigación

El futuro de la innovación en el café especial colombiano enfrenta varios desafíos que deberán ser abordados de manera proactiva.

#### *9.3.1 Cambio climático e intensificación de eventos extremos*

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos para la producción cafetera a nivel global (Bianco, 2020):

- **Desafío**: Aumento de temperaturas, alteración de patrones de lluvia, mayor incidencia de sequías, tormentas e infestaciones de plagas. En Colombia, se ha

documentado la relación entre el El Niño y las variaciones en precipitación en la región andina cafetera (Ramírez et al., 2014).

- **Estrategias de mitigación:**

  - Implementación acelerada de variedades resistentes a condiciones climáticas adversas.
  - Desarrollo de sistemas agroforestales que regulen microclimas y diversifiquen riesgos.
  - Infraestructura para gestión hídrica: cosecha de agua lluvia, riego eficiente y protección de fuentes hídricas.
  - Sistemas de alerta temprana y respuesta rápida a nivel territorial.

### *9.3.2 Brecha digital y acceso a tecnologías*

La digitalización ofrece enormes oportunidades, pero también riesgos de exclusión. En Colombia, solo el 2.4 % de los pequeños productores agrícolas tienen acceso a internet (DANE, 2019), lo que representa un obstáculo significativo para la adopción de tecnologías 4.0:

- **Desafío**: diferencia en el acceso a conectividad, dispositivos, capacitación digital y servicios tecnológicos entre diferentes productores y regiones.
- **Estrategias de mitigación:**

  - Programas de conectividad rural específicamente diseñados para zonas cafeteras.

    Desarrollo de tecnologías apropiadas y asequibles para pequeños productores.
  - Centros comunitarios de innovación digital que proporcionen acceso compartido a tecnologías avanzadas.
  - Formación en habilidades digitales adaptada a diferentes niveles educativos y grupos de edad.

### *9.3.4 Volatilidad de mercados y competencia internacional*

El mercado internacional del café especial es cada vez más competitivo. Las fluctuaciones extremas en los precios del café dificultan la planificación financiera y pueden amenazar la viabilidad económica de los productores (Singhal, 2024):

- **Desafío:** fluctuaciones de precios, entrada de nuevos países productores y cambios en preferencias de consumidores que pueden afectar la posición competitiva del café colombiano.

- **Estrategias de mitigación:**

  - Posicionamiento del café colombiano basado en atributos únicos verificables (origen, calidad, impacto).
  - Diversificación de mercados y desarrollo de nichos especializados.
  - Mecanismos financieros innovadores para gestión de riesgos de mercado.
  - Integración vertical que permita capturar mayor valor en la cadena.

### *9.3.5 Resistencia al cambio y barreras culturales*

La implementación de innovaciones frecuentemente enfrenta resistencia cultural, como lo señalan Mukasa et al., (2025):

- **Desafío:** Adherencia a prácticas tradicionales, desconfianza hacia nuevas tecnologías y modelos de negocio, y barreras generacionales.

- **Estrategias de mitigación:**

  - Procesos participativos que integren conocimiento tradicional con innovación.
  - Demostraciones prácticas y parcelas modelo que evidencien beneficios tangibles.
  - Formación de caficultores líderes que actúen como campeones de innovación en sus comunidades.
  - Adaptación de tecnologías e innovaciones al contexto cultural local.

## 9.4 Líneas futuras de investigación

Esta investigación abre múltiples líneas para estudios futuros que profundicen en la comprensión de la innovación en el sector cafetero.

### *9.4.1 Estudios longitudinales sobre adopción e impacto*

- **Evolución temporal de prácticas innovadoras**: Investigaciones que sigan la trayectoria de innovación de fincas cafeteras a lo largo del tiempo, identificando factores que aceleran o frenan los procesos de cambio.
- **Efectos a largo plazo**: Estudios sobre el impacto económico, social y ambiental de la adopción de las innovaciones identificadas en esta investigación, evaluando su sostenibilidad en el tiempo.
- **Difusión de innovaciones**: Análisis de los mecanismos y canales a través de los cuales las innovaciones se difunden entre caficultores, identificando catalizadores y cuellos de botella.

### *9.4.2 Profundización en variables específicas*

- **Gestión integral de residuos**: Investigaciones detalladas sobre las mejores prácticas en gestión de residuos adaptadas a diferentes tipos de fincas y contextos, cuantificando beneficios económicos y ambientales.
- **Adopción tecnológica digital**: Estudios sobre los factores que influyen en la adopción exitosa de tecnologías digitales entre caficultores, considerando aspectos técnicos, económicos, sociales y psicológicos.
- **Flexibilidad ante el cambio**: Análisis de los componentes específicos de la flexibilidad organizacional en fincas cafeteras y cómo estas capacidades pueden desarrollarse sistemáticamente.

### *9.4.3 Innovación en modelos de negocio y comercialización*

- **Nuevos esquemas de financiación**: Investigación sobre modelos innovadores para financiar la transición hacia café especial sostenible, incluyendo inversión de impacto, pago por servicios ambientales y financiación combinada.

- **Plataformas digitales y desintermediación**: Estudios sobre el potencial y las limitaciones de plataformas digitales para transformar la comercialización del café, analizando su impacto en la distribución de valor en la cadena.
- **Co-creación de valor con consumidores**: Exploración de nuevos modelos de negocio basados en la participación de consumidores en la definición de atributos del café, financiación de mejoras y verificación de impactos.

### *9.4.4 Innovación para la resiliencia climática*

- **Efectividad comparativa de estrategias de adaptación**: Evaluación sistemática de diferentes enfoques para aumentar la resiliencia climática en fincas cafeteras, desde variedades resistentes hasta sistemas agroforestales.
- **Servicios climáticos para caficultores**: Investigación sobre el diseño y la implementación de servicios de información climática adaptados a las necesidades específicas de caficultores.
- **Café y carbono**: Estudios sobre el potencial de mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono en sistemas cafeteros, y diseño de mecanismos para monetizar este servicio ambiental.

## 9.5 Visión prospectiva: El café especial colombiano en 2035

Acorde a las tendencias actuales y en los resultados de esta investigación, se puede elaborar una visión prospectiva del sector de café especial colombiano para el año 2035.

### *9.5.1 Transformación productiva*

Para 2035, la producción de café especial en Colombia habrá experimentado una transformación profunda:

- La mayoría de las fincas cafeteras habrán adoptado sistemas integrales de gestión digital, utilizando sensores, drones y análisis predictivo para optimizar cada fase del cultivo.

- La gestión integral de residuos habrá evolucionado hacia un modelo de economía circular completo, donde cada subproducto del café es valorizado y genera ingresos adicionales.
- Los sistemas agroforestales complejos serán dominantes, combinando café con especies maderables, frutales y plantas medicinales en arreglos optimizados para cada microclima.
- Las variedades de café cultivadas serán diversas y adaptadas localmente, resultado de programas de mejoramiento participativo que integran ciencia de punta con conocimiento tradicional.

### *9.5.2 Reconfiguraciones en la cadena de valor*

La cadena de valor del café especial colombiano se habrá reconfigurado significativamente:

- Existirán múltiples modelos de comercialización directa, facilitados por plataformas digitales que garantizan total trazabilidad y transparencia mediante blockchain.
- Las cooperativas y asociaciones de productores habrán evolucionado hacia empresas sociales sofisticadas, con capacidad para procesar, comercializar e incluso tostar café de sus asociados.
- Los caficultores colombianos participarán activamente en mercados internacionales de servicios ambientales, recibiendo pagos por secuestro de carbono, conservación de biodiversidad y gestión hídrica.
- Existirán modelos de propiedad compartida entre productores y consumidores, donde estos últimos invierten directamente en mejoras de fincas a cambio de derechos sobre producciones futuras.

### *9.5.3 Nuevos perfiles de caficultores*

El perfil del caficultor colombiano se habrá diversificado:

- Una nueva generación de caficultores digitales, con formación técnica o profesional, combinará conocimiento agrícola con habilidades en análisis de datos, marketing digital y gestión sostenible.

- Mujeres caficultoras tendrán un rol mucho más prominente, liderando innovaciones en calidad, sostenibilidad y conexión con consumidores.
- Surgirán modelos colaborativos de producción que permitan a jóvenes iniciar en la caficultura sin necesidad de grandes inversiones iniciales en tierra.
- Los caficultores serán reconocidos como custodios ambientales y culturales, valorados no solo por el café que producen sino por los múltiples servicios ecosistémicos que generan.

### *9.5.4 Colombia como hub de innovación cafetera*

Colombia se habrá consolidado como un centro global de innovación cafetera:

El país albergará centros de investigación y desarrollo de clase mundial, atrayendo talento internacional y generando propiedad intelectual relacionada con café sostenible.

Existirá un ecosistema vibrante de startups cafeteras, desarrollando soluciones tecnológicas específicas para cada eslabón de la cadena de valor.

Las regiones cafeteras colombianas serán destinos globales de turismo especializado, combinando experiencias inmersivas con oportunidades de aprendizaje y comercio directo.

El modelo colombiano de innovación en café especial sostenible se exportará a otros países productores, generando un nuevo flujo de ingresos basado en conocimiento y servicios especializados.

## Conclusiones

Las tendencias emergentes evidencian una convergencia sin precedentes entre la agricultura de precisión, la biotecnología avanzada y la economía circular que redefinirá completamente los paradigmas productivos cafeteros. La agricultura de precisión mediante el uso de sensores IoT, drones y análisis predictivo basado en big data, permitirá la optimización en tiempo real de cada

variable productiva. Simultáneamente, los avances en biotecnología, incluida la manipulación del microbioma del café, proporcionarán herramientas para mantener la competitividad del sector ante condiciones ambientales cambiantes.

El modelo desarrollado deberá evolucionar de manera continua para mantener relevancia ante realidades emergentes. La integración de nuevas variables tecnológicas, como el nivel de digitalización, la implementación de analítica avanzada y la adopción de biotecnología, será fundamental para capturar la complejidad creciente de la innovación cafetera. Además, la ampliación del modelo desde la escala de la finca individual hacia sistemas de innovación colectiva permitirá que la caficultura evolucione de manera articulada con su entorno productivo, social y territorial.

Los desafíos identificados tales como la intensificación del cambio climático, la brecha digital, la volatilidad de los mercados, y la resistencia cultural al cambio, requieren estrategias de mitigación integrales y proactivas. El cambio climático, como amenaza estructural, demandará implementación acelerada de variedades resistentes, sistemas agroforestales que regulen los microclimas e infraestructura para la gestión hídrica. La brecha digital (X47) requerirá programas específicos de conectividad rural, desarrollo de tecnologías apropiadas para pequeños productores y la formación en habilidades digitales adaptada al contexto local. Estas estrategias de mitigación fortalecerán las tres variables críticas del modelo, particularmente la flexibilidad ante el cambio (X51), que emerge como una capacidad fundamental para navegar un entorno dinámico y altamente incierto.

En el futuro, la gestión integral de residuos continuará siendo un elemento clave a medida que se avance hacia modelos de economía circular, donde cada subproducto se aprovecha para generar valor. Los caficultores podrán acceder a nuevas fuentes de ingreso a través de mercados de servicios ambientales, en los cuales se reconoce y remunera el impacto positivo que generado en términos ambientales y sociales. De este modo la sostenibilidad trasciende su dimensión normativa y se consolida como una verdadera ventaja competitiva para el café especial colombiano.

# Conclusiones finales

Este libro presentó un modelo integral de innovación para la producción de café especial de tipo sostenible en Colombia, fundamentado en una investigación empírica rigurosa. El estudio de 66 fincas cafeteras, en Pitalito Huila, identificó siete factores de innovación que agrupan 54 variables, destacándose tres variables críticas, para crear un proceso de producción diferenciador en una finca cafetera: a) gestión integral de residuos, b) adopción de tecnología digital y c) flexibilidad ante el cambio.

El modelo de regresión logística alcanzó 97 % de precisión predictiva, validando su robustez para evaluar capacidad innovadora de las fincas cafeteras. Los resultados demostraron diferencias significativas entre fincas innovadoras y tradicionales en términos de precios, calidad y acceso a mercados. Desde una perspectiva teórica, la investigación integra el Manual de Oslo con sistemas de certificación sostenible (Rainforest Alliance, Fairtrade, Orgánico (IFOAM), Conducta 4C y Starbucks), demostrando que la innovación agroindustrial puede medirse mediante instrumentos con metodología rigurosa y adaptada al sector cafetero. El modelo ofrece herramientas teóricas-conceptuales transferibles, las cuales requieren validación en otras regiones cafeteras del país.

El trabajo abre líneas futuras de investigación tales como: a) estudios comparativos en diferentes regiones en Colombia, b) seguimiento de impacto agroindustrial, c) adaptación del modelo a otros cultivos de especialidad y d) integración con tecnologías emergentes de agricultura de precisión. Este modelo demuestra que la innovación en café especial no es un proceso superficial, sino un conjunto de prácticas concretas, medibles y alcanzables, que permiten transformar fincas tradicionales productoras de café convencional en sistemas innovadores, sostenibles y competitivos, contribuyendo así al fortalecimiento del sector cafetero colombiano y al bienestar de las familias cafeteras.

# Referencias


Acosta, P. A., Martínez, C., & Vásquez, A. (2015). Agromemoria en escenarios de posconflicto: Usos del suelo y café en Aguadas, Pensilvania y Samaná (Caldas, Colombia). *Cooperativismo & Desarrollo, 24*(108), 95–105. https://doi.org/10.16925/co.v24i108.1263

Agencia de Noticias UNAL. (2022). *Innovación técnica y asociatividad, secreto de la producción cafetera en Pitalito*. https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/innovacion-tecnica-y-asociatividad-secreto-de-la-producción-cafetera-en-pitalito

Aghion, P., Van Reenen, J., & Zingales, L. (2013). Innovation and institutional ownership. *American Economic Review, 103*(1), 277–304. https://doi.org/10.1257/aer.103.1.277

Agnola, T., Ambrosini, L., Beretta, E., & Gremlich, G. (2025). Empowering global supply chains through blockchain-based platforms: New evidence from the coffee industry. *FinTech, 4*(3), 2–30. https://doi.org/10.3390/fintech4010003

Agriculture Innovation Agenda. (2020). *Agriculture innovation as a solution for farmers, consumers, and the environment*. U.S. Department of Agriculture. https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/agriculture-innovation-agenda-vision-statement.pdf

Alarcón, E., García, C., González, D. A., & Valencia, M. (2018). Impacto del posconflicto desde la mirada de un subsector agroindustrial regional. *Estudios Políticos*, (53), 73–99. https://doi.org/10.17533/udea.espo.n53a04

Arcila, I. (2011). *Identidades estratégicas, identidades certificadas: El caso de la Asociación de Pequeños Productores de Café, Asprocafé Ingrumá*. https://scispace.

com/papers/identidades-estrategicas-identidades-certificadas-el-caso-de-5181ikfnjx

Asmar, S. (2020). *Las ventajas del café caturro para ser variedad premium*. Agronegocios. https://www.agronegocios.co/agricultura/las-ventajas-del-cafe-caturro-para-ser-variedad-premium

Asociación Americana de Café de Especialidad. (2016). *What is specialty coffee?* https://italyspecialty.coffee/articles/what-is-specialty-coffee

Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security, 7*(2), 303–321. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9

Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access, 7*, 129551–129583. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609

Barjolle, D., Quiñones-Ruiz, X. F., Bagal, M., & Comoé, H. (2017). The role of the state for geographical indications of coffee: Case studies from Colombia and Kenya. *World Development, 98*, 105–119. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.006

Battista, F., Zanzoni, S., Strazzera, G., Andreolli, M., & Bolzonella, D. (2020). The cascade biorefinery approach for the valorization of the spent coffee grounds. *Renewable Energy, 157*, 1203–1211. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.113

Bavorová, M., Ullah, A., Garcia, Y. A., et al. (2025). Factors influencing farm succession decisions: Evidence from coffee farmers of Colombia. *Environment, Development and Sustainability, 27*, 13215–13234. https://doi.org/10.1007/s10668-023-04433-0

Benavides, P. (2024). La revolución industrial de la caficultura 4.0 en la lucha contra las plagas del café. *Memorias del Seminario Científico Cenicafé, 75*(1), 2–8. https://doi.org/10.38141/10795/751004

Bianco, G. (2020). Climate change adaptation, coffee, and corporate social responsibility: Challenges and opportunities. *International Journal of Corporate Social Responsibility, 5*(3), 2–13. https://doi.org/10.1186/s40991-020-00048-0

Bogers, M., Chesbrough, H., & Moedas, C. (2018). Open innovation: Research, practices, and policies. *California Management Review, 60*(2), 5–12. https://doi.org/10.1177/0008125617745086

Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford University Press.

Bureau, A. (2020). *Innovation models*. https://alcorfund.com/insight/innovation-models-innovation-process-models-examples/

Byrareddy, V., Kath, J., Kouadio, L., Mushtaq, S., & Geethalakshmi, V. (2024). Assessing scale-dependency of climate risks in coffee-based agroforestry systems. *Scientific Reports, 14*, Article 7. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58790-5

Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S.; Shearer, T., Vieriková, M., Young, S., Bywaters, D. y Walker, K. (2020). Purposive sampling: complex or simple? *Journal of Research in Nursing*, 1, 1-10. https://doi.org/10.1177/1744987120927206.

Christensen, C., Hall, T., Dillon y K., Duncan, D. (2016). Know your customers' jobs to be done. https://hbr.org/2016/09/know-your-customers-jobs-to-be-done

Código de Conducta 4C. (2018). Código de conducta. https://www.4c-services.org/wp-content/uploads/2019/04/4C-Code-of-Conduct_v2.3_ES.pdf

Coffee Behind the Scenes, CBS (2018). El Café en Colombia. http://www.coffeebehindthescenes.com/es/country/colombia

Cooper, R. (1993). Stage-gate systems: A new tool for managing new products. *Business Horizons, 36*(3), 58-66. http://dx.doi.org/10.1016/0007-6813(90)90040-I

Cortina, H, Acuña, J., Moncada, M., Herrera, J. y Molina, D. (2013). *Variedades de café: Desarrollo de variedades*. *Manual del cafetero colombiano: Investigación y*

*tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. 1, pp. 169–202. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_09

Creswell, J. W. (2012). *Planning, Conducting, And Evaluating Quantitative and Qualitative* Research. Pearson, 4, pp. 1-673. ISBN-13: 978-0-13-136739-5

Creswell, J. W. (2014). *Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications, 3, pp. 1-270. ISBN 978-1-4129-6557-6

Curtis, M., Alexander, S., Cirino, G., Docherty, J., George, C., Giembycs, M. y Ahluwalia, A. (2018). Experimental design and analysis and their reporting II: updated and simplified guidance for authors and peer reviewers. *British Journal of Pharmacology,* 175, 987-993. https://doi.org/10.1111/bph.14153

DaMatta, F. M., Rahn, E., Läderach, P., Ghini, R., & Ramalho, J. C. (2019). Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated? *Climatic Change, 152*(1), 19–27. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2019). *Encuesta nacional agropecuaria 2019*. https://microdatos.dane.gov.co/index.php/metadata/export/749/ddi

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2023). *Exportaciones tradicionales y no tradicionales*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones

Devaux, A., Torero, M., Donovan, J., & Horton, D. (2018). Agricultural innovation and inclusive value-chain development: A review. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 8*, 15–22. https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2017-0065

Drucker, P. F. (2012). *Innovation and entrepreneurship*. Routledge Classics.

Ernst, A. F., & Albers, C. J. (2017). Regression assumptions in clinical psychology research practice: A systematic review of common misconceptions. *PeerJ, 5*, e3323. https://doi.org/10.7717/peerj.3323

Standing Committee on Agricultural Research. (2012). *Agricultural knowledge and innovation systems in transition: A reflection paper*. European Commission.

https://scar-europe.org/images/AKIS/Documents/AKIS_reflection_paper.pdf

Fabregas, R., Kremer, M., & Schilbach, F. (2019). Realizing the potential of digital development: The case of agricultural advice. *Science, 366*(6471), 599–602. https://doi.org/10.1126/science.aay3038

Fairtrade International. (2019). *Criterio de comercio justo Fairtrade para organizaciones de pequeños productores*. https://files.fairtrade.net/standards/SPO_SP.pdf

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2019). *Cafés especiales*. https://federaciondecafeteros.org/wp/programas/cafes-especiales/

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2020). *Conozca las ventajas de las variedades de café Castillo® zonales*. https://caldas.federaciondecafeteros.org/listado-noticias/conozca-las-ventajas-de-las-variedades-de-cafe-castillo-zonales

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2023). *Precios, áreas y producción de café*. https://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/

Fernandez-Stark, K., & Bamber, P. (2012). Basic principles and guidelines for inclusive value chain development. En *Inclusive value chains*. Inter-American Development Bank. https://www.globalvaluechains.org/wp-content/uploads/IDBBasicPrinciplesGuidelinesHighValueAgroFoodVCs2012.pdf

Gadermann, A. M., Guhn, M., & Zumbo, B. D. (2018). Estimating ordinal reliability for Likert-type and ordinal item response data: A conceptual, empirical, and practical guide. *Practical Assessment, Research & Evaluation, 23*, 1–13. https://doi.org/10.1080/19416520.2013.791066

Gaitán, A. (2023). Overcoming pests, diseases and climate variability: The tale of Colombian coffee. *Memorias del Seminario Científico Cenicafé, 74*(1), 12–19. https://doi.org/10.38141/10795/740920

García-Cáceres, R., & Olaya-Escobar, E. S. (2006). Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector agroindustrial del café. *Cuadernos de Administración, 19*(31), 197–217. https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos_admon/article/view/5240

Gay, C., & Szostak, B. (2020). From territorialised innovation to collaborative innovation space: What are the issues for contemporary organisations? *Journal of Innovation Economics & Management*, (32), 135–158. https://hal.science/halshs-02874710/

Hameed, A., Hussain, S., Umair, M., Ullah, S., Pasha, I., & Rasul, H. (2018). Farm to consumer: Factors affecting the organoleptic characteristics of coffee. II: Postharvest processing factors. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 1*, 2–8. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12365

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hong, J., Hou, B., Zhu, K., & Marinova, D. (2018). Exploratory innovation, exploitative innovation and employee creativity: The moderation of collectivism in Chinese context. *Chinese Management Studies, 12*(2), 268–286. https://doi.org/10.1108/CMS-11-2016-0228

Hualpa, A., Felizzola, H., Arango, C., & Rangel, J. (2024). Enfoque metodológico para el aprovechamiento de mermas de transformación agrícola basado en manufactura esbelta: Caso de estudio en una finca cafetera en Colombia. *Scientia Agropecuaria, 15*, 371–384. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.028

IFOAM – Organics International. (2019). *The common objectives and requirements of organic standards (COROS)*. https://ch.ifoam.bio/sites/default/files/2020-04/coros_2011_spreadsheet_final_5.xls

Isa, S. S. M., Abidin, N. Z., & Yahaya, I. (2019). Conceptualizing eco-innovation practices in contractor firms: The dynamic capability approaches. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 601*, Article 012030. https://doi.org/10.1088/1757-899X/601/1/012030

Ivanov, D., & Savin, A. (2023). Applying lean principles to innovation management. *Samara National Journal, 14*, 25–34. https://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-2-25-34

Jones, K., Mugendi, E., Garnett, K., & Girkin, N. (2024). Assessing the impact of voluntary certification schemes on future sustainable coffee production. *Sustainability, 16*(13), Article 5669. https://doi.org/10.3390/su16135669

Kahan, D. (2012). *Entrepreneurship in farming: Farm management extension guide*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/i3231e/i3231e.pdf

Kerlinger, F. N. (2014). *Foundations of behavioral research* (4th ed.). Gadjah Mada University Press.

Keskin, C., Atasavun, S., & Yildiz, A. (2023). Examining the effect of lean innovation on production. *International Journal of Pioneering Technology, 2*, 1–6. https://doi.org/10.56158/jpte.2023.55.2.02

Kilelu, C. W., Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2013). Unravelling the role of innovation platforms in supporting co-evolution of innovation: Contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. *Agricultural Systems, 118*, 65–77. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.03.003

Klerkx, L., van Mierlo, B., & Leeuwis, C. (2012). Evolution of systems approaches to agricultural innovation: Concepts, analysis and interventions. En *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic* (pp. 457–483). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_20

Kohler, K. (2023). Design thinking applied in the coffee industry: With common sense to unexpected outcomes. *MDPI, 4*, 1–10. https://doi.org/10.3390/ICC2023-14832

Köksal, Ö., & Tekinerdogan, B. (2019). Architecture design approach for IoT-based farm management information systems. *Precision Agriculture, 20*(5), 926–958. https://doi.org/10.1007/s11119-018-09624-8

Lachenmeier, D., Weller, P., Farah, A., Ablan, M., Fabian, M., Del Castillo, M., & Schwarz, S. (2024). Shaping the future of coffee: Climate resilience, Liberica's rise, and by-product innovation—Highlights from the International Coffee Convention 2023. *Foods, 13*, 2–14. https://doi.org/10.3390/foods13060832

Läderach, P., Oberthür, T., Cook, S., Estrada Iza, M., Pohlan, J. A., Fisher, M., & Rosales Lechuga, R. (2011). Systematic agronomic farm management

for improved coffee quality. *Field Crops Research, 121*, 321–329. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.006

Lai, Z., Ge, D., Xia, H., Yue, Y., & Wang, Z. (2017). Coupling coordination between environment, economy and tourism: A case study of China. *PLOS ONE, 12*(12), 3–15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228426

Lambrecht, E., Kuhne, B., & Gellynck, X. (2014). How do innovation partners differ with respect to innovation type and stage in the innovation journey of farmers? *International Journal of Entrepreneurship and Innovation, 15*(3), 191–203. https://doi.org/10.5367/ijei.2014.0155

Laranjeira, I. (2019). *Café de calidad y sostenibilidad ambiental: ¿Cómo lograrlos?* https://perfectdailygrind.com/es/2019/09/12/cafe-de-calidad-y-sostenibilidad-ambiental-como-lograrlos/

León, B. (2025). Rasgos fisiológicos y fenológicos de la producción de variedades mejoradas de café en Colombia. *Memorias del Seminario Científico Cenicafé, 76*(1), 31–37. https://doi.org/10.38141/10795/760616

Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., & Branca, G. (2020). *Climate-smart agriculture: Building resilience to climate change*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5

Lundvall, B.-Å. (1992). *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Anthem Publishers. https://doi.org/10.7135/UPO9781843318903

Manchola, C. (2022). *Por 12 años consecutivos, Huila es el mayor productor de café*. La Nación. https://www.lanacion.com.co/por-12-anos-consecutivos-huila-es-el-mayor-productor-de-cafe/

McNiff, J. (2013). *Action research: Principles and practice* (3rd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203112755

Mertens, D. M. (2018). *Mixed methods design in evaluation*. SAGE Publications. https://doi.org/10.4135/9781506330631

Molina, D. (2022). Avances en el mejoramiento genético de café por estrés hídrico. *Memorias del Seminario Científico Cenicafé, 73*(1), 22–30. https://doi.org/10.38141/10795/73116

Moreno Ruiz, G., & Alvarado, G. (2000). *La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto*. Cenicafé. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/bot/article/view/1323

Morgan, D. L. (2014). Pragmatism as a paradigm for social research. *Qualitative Inquiry, 20*(8), 1045–1053. https://doi.org/10.1177/1077800413513733

Mosquera, T., Combariza, J., Cuellar, D., & Quiñonez, H. (2022). Differential elements of a successful agricultural innovation scaling-up model. *Evaluation and Program Planning, 94*, 10–21. https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2022.102116

Mostafa, F., Sanchez, M., Dumrak, J., & Hadjinicolaou, N. (2020). Lean and agile project management concepts in the project management profession. *Project Management Research Journal, 6*, 2–12. https://doi.org/10.37938/PMR

Mukasa, D., Rusinamhodzi, L., Van Asten, P., Amwonya, D., Sseguya, H., Okiror, F., Kirungi, D., Wodada, W., Komakech, V., Margiotta, S., & Jassogne, A. (2025). A stepwise approach to facilitate adoption of climate-smart practices for smallholder coffee production in Uganda. *International Journal of Agricultural Sustainability, 23*, 2–23. https://doi.org/10.1080/14735903.2025.2513790

Nelson, R., & Coe, R. (2014). Transforming research and development practice to support agroecological intensification of smallholder farming. *Journal of International Affairs, 67*, 107–127. https://www.ccrp.org/wp-content/uploads/2019/09/Nelson-Coe_FRN_2014.pdf

Organización Internacional del Café. (2023). *Informe del mercado de café: Septiembre de 2023*. https://www.ico.org/documents/cy2022-23/cmr-0923-c.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development, & Eurostat. (2018). *Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation* (4th ed.). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264304604-en

Panhuysen, S., & Pierrot, J. (2022). *Coffee barometer 2020*. Conservation International; Fairtrade International; Rainforest Alliance; Specialty

Coffee Association. https://hivos.org/assets/2021/01/Coffee-Barometer-2020.pdf

Partida-Sedas, J., Muñoz, M., Vásquez-Oderiz, M., Romero, M., & Pérez, M. (2019). Influence of the postharvest processing of the Garnica coffee variety on the sensory characteristics and overall acceptance of the beverage. *Journal of Sensory Studies, 34*(2), 2–6. https://doi.org/10.1111/joss.12502

Peluso, A. M. (2023). Navigating the coffee business landscape: Challenges and adaptation strategies in a changing world. *Proceedings of the MDPI Conference, 89*(1), 1–6. https://doi.org/10.3390/ICC2023-14825

Peng, C. Y. J., Lee, K. L., & Ingersoll, G. M. (2002). An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The Journal of Educational Research, 96*(1), 3–14. https://doi.org/10.1080/00220670209598786

Pereira, A., Carballo-Penela, A., González-Loureiro, M., & Vence, X. (2021). Transitioning towards a circular economy in the coffee value chain: An analysis of company initiatives. *Journal of Cleaner Production, 300*, 126908. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126908

Perfect Daily Grind. (2019, January 15). *¿Cómo se compra y vende el café verde?* https://perfectdailygrind.com/es/2019/01/15/como-se-compra-y-vende-el-cafe-verde/

Perfect Daily Grind. (2017, September 5). *Geisha vs. Bourbon: Un curso intensivo de variedades de café*. https://perfectdailygrind.com/es/2017/09/05/geisha-vs-bourbon-un-curso-intensivo-de-variedades-de-cafe

Perfecto, I., Jiménez-Soto, M. E., & Vandermeer, J. (2019). Coffee landscapes shaping the Anthropocene: Forced simplification on a complex agroecological landscape. *Current Anthropology, 60*(2), 236–250. https://doi.org/10.1086/703413

Pham, Y., Reardon-Smith, K., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: A systematic review. *Climatic Change, 156*, 1–20. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y

Pisano, U., Lange, L., & Berger, G. (2015). *Social innovation in Europe: An overview of the concept of social innovation in the context of European initiatives and practices* (ESDN Quarterly Report No. 36). European Sustainable Development Network. https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/2015-April-Social_Innovation_in_Europe.pdf

Starbucks Coffee Company. (2016). *Prácticas C.A.F.E.: Tarjeta de puntuación genérica*. https://cdn.scsglobalservices.com/files/program_documents/cafe_scr_genericv3.4_esp_030916_1.pdf

Preet, S. (2013). *Variables en investigación*. https://sites.usp.br/rnp/wp-content/uploads/sites/830/2020/10/complemento-aula-1.pdf

Puerta, G. (2021). *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026

Rahi, S. (2017). Research design and methods: A systematic review of research paradigms, sampling issues and instruments development. *International Journal of Economics & Management Sciences, 6*(3), 1–5. https://doi.org/10.4172/2162-6359.1000403

Rainforest Alliance. (2023). *Requisitos para fincas*. https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2023/02/SA-S-SD-1-V1.3ES-Rainforest-Alliance-2020-Estandar-Agricultura-Sostenible-Requisitos-para-Fincas.pdf

Ramírez, A., Sánchez, J., & Malaver, J. (2024). *Un café de confianza: Análisis de la implementación de tecnología blockchain y su impacto en la trazabilidad y sostenibilidad en la cadena de suministro cafetera en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad EAN]. Repositorio Institucional EAN. http://hdl.handle.net/10882/13350

Ramírez, E. (2025). *Modelo de innovación para los procesos de producción del café especial en Colombia* [Tesis doctoral, Universidad EAN]. Repositorio Institucional EAN. http://hdl.handle.net/10882/14732

Ramírez, E., & Garcia, L. (2020). *Competitividad en la producción de cafés especiales del departamento del Huila*. Repositorio Institucional Universidad EAN. https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/10101

Ramírez, E., Castro, H., Velasquez, T., & Garcia, L. (2024). Unveiling critical innovation factors in sustainable coffee production: A Colombian perspective. *Production Engineering Archives, 30*(4), 431–441. https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.41

Ramírez, E., Castro, H., & Garcia, L. (2025). Modelo de innovación para fincas productoras de café especial en Colombia. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1*(45), 1–9. https://doi.org/10.24054/rcta.v1i45.3342

Ramírez, M. (2016). *Creación de cultura generadora de valor agregado en la actividad cafetera*. https://scispace.com/pdf/creacion-de-cultura-generadora-de-valor-agregado-en-la-3pjf2qers0.pdf

Ramírez, V., Pabón, J., & Boshell, F. (2014). Relación entre el índice oceánico El Niño y la precipitación en la región andina central de Colombia. *Meteorología Colombiana, 13*, 45–56. https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.053328

Ranganathan, P., Pramesh, C. S., & Aggarwal, R. (2017). Common pitfalls in statistical analysis: Logistic regression. *Perspectives in Clinical Research, 8*(3), 148–151. https://doi.org/10.4103/picr.PICR_87_17

Reardon, T., Minten, B., Chen, K., Adriano, L., Dao, T. A., & Wang, X. (2018). The quiet revolution in agri-food value chains in Asia: Understanding the fast emergence of cold storages in poor districts in India. *World Development, 109*, 327–342. https://doi.org/10.13140/2.1.4557.6000

Revista EAN. (2020). Código de ética y buenas prácticas de la universidad. *Journal of Education, 1*(3), 121–128. https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/1199

Richardson, E., Trevizani, R., Greenbaum, J., Carter, H., Nielsen, M., & Peters, B. (2024). The receiver operating characteristic curve accurately assesses imbalanced datasets. *Patterns, 12*, 2–12. https://doi.org/10.1016/j.patter.2024.100994

Rivera, Y., Landero, J., Dávila, S., & Sevilla, A. (2020). Influencia de la innovación en el proceso productivo. *Revista Científica de FAREM-Estelí, 5*(6), 64–78. https://doi.org/10.5377/farem.v0i33.9609

Rodríguez, N. (2024). Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos. *Cenicafé, 75*(1), 16–23. https://doi.org/10.38141/10795/750415

Ruiu, G., & Breschi, M. (2019). The effect of aging on the innovative behavior of entrepreneurs. *Small Business Economics, 10*, 1784–1807. https://doi.org/10.1007/s13132-019-00612-5

Samper, L., & Quiñones-Ruiz, F. (2017). Towards a balanced sustainability vision for the coffee industry. *Resources, 6*(2), Article 17. https://doi.org/10.3390/resources6020017

Schot, J., & Steinmueller, W. E. (2018). Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy, 47*(9), 1554–1567. https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011

Schumpeter, J. A. (2008). *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Harvard University Press. https://cruel.org/books/hy/shortschumpeter/SchumpeterTheoryofEconDev.pdf

Sgroi, F. (2022). The role of blockchain for food safety and market efficiency. *Journal of Agriculture and Food Research, 10*, Article 100326. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100326

Shi, H., Ren, Y., Xian, J., Ding, H., Liu, X., & Wan, C. (2024). Item analysis on the quality of life scale for anxiety disorders QLICD-AD (V2.0) based on classical test theory and item response theory. *Health and Quality of Life Outcomes, 22*, Article 504. https://doi.org/10.1186/s12991-024-00504-2

Singhal, S., & Tarp, F. (2024). Commodity price volatility and the psychological well-being of farmers. *American Journal of Agricultural Economics, 106*(2), 609–638. https://doi.org/10.1111/ajae.12468

Sperandei, S. (2014). Understanding logistic regression analysis. *Biochemia Medica, 24*(1), 12–18. https://doi.org/10.11613/BM.2014.003

Spielman, D. J., Ekboir, J., & Davis, K. (2011). The art and science of innovation systems inquiry: Applications to Sub-Saharan African agriculture.

*Technology in Society, 31*(4), 399–405. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.10.004

Steenkamp, R. (2019). The quadruple helix model of innovation for Industry 4.0. *Independent Research Journal in the Management Sciences, 19*, Article 820. https://doi.org/10.4102/ac.v19i1.820

Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education, 48*(6), 127–145. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2

Taylor, C. (2019). *Parametric and nonparametric methods in statistics*. ThoughtCo. https://www.thoughtco.com/parametric-and-nonparametric-methods-3126411

Tolessa, K., D'Heer, J., Duchateau, J., & Boeckx, P. (2016). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 96*(1), 13–20. https://doi.org/10.1002/jsfa.8114

Tovar, J., Solórzano, J., Badillo, A., & Rodríguez, G. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: Estado actual. *Revista Colombiana de Computación, 20*(2), 86–105. https://doi.org/10.21501/21454086.3253

Tovar-Quiroz, A. (2023). Agricultura 4.0: Uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 17*(2), 195–211. https://doi.org/10.23850/22565035.5536

Triviño Pineda, J. S., Contreras García, J., Amorocho Cruz, C. M., & Sánchez Ramírez, J. E. (2022). Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa). *Revista Colombiana de Biotecnología, 23*(2), 6–14. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n2.90551

Twyman, J., Muriel, J., & Garcia, M. A. (2015). Identifying women farmers: Informal gender norms as institutional barriers to recognizing women's contributions to agriculture. *Journal of Gender, Agriculture and Food Security (Agri-Gender), 1*(2). https://doi.org/10.22004/ag.econ.246047

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2023). *Resultados de las evaluaciones agropecuarias 2023*. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2023.aspx

Vettik-Leemet, P., & Mets, T. (2024). Entrepreneurship and innovation—Process overlap or the same? Systematic overview and converging process-dynamic model. *Administrative Sciences, 14*(2), 38. https://doi.org/10.3390/admsci14020038

Vicol, M., Neilson, J., Hartatri, D. F. S., & Cooper, P. (2018). Upgrading for whom? Relationship coffee, value chain interventions and rural development in Indonesia. *World Development, 110*, 26–37. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.020

Villalta, J., & Gatica, A. (2019). Una mirada en el tiempo: Mejoramiento genético de café mediante la aplicación de la biotecnología. *Agronomía Mesoamericana, 30*(2), 577–599. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212019000200577&script=sci_abstract&tlng=es

Wahyudi, A., Wulandari, S., Aunillah, A., & Alouw, J. (2020). Sustainability certification as a pillar to promote Indonesian coffee competitiveness. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 418*, 012009. https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012009

Waters-Bayer, A., Kristjanson, P., Wettasinha, C., van Veldhuizen, L., Quiroga, G., Swaans, K., & Douthwaite, B. (2015). Exploring the impact of farmer-led research supported by civil society organisations. *Agriculture & Food Security, 4*(1), 1–7. https://doi.org/10.1186/s40066-015-0023-7

Zhang, Y., Khan, U., Lee, S., & Salik, M. (2019). The influence of management innovation and technological innovation on organization performance: A mediating role of sustainability. *Sustainability, 11*(2), 495. https://doi.org/10.3390/su11020495

Zhu, H., Lin, C., Liu, G., Wang, D., Qin, S., Li, A., Xu, J.-L., & He, Y. (2024). Intelligent agriculture: Deep learning in UAV-based remote sensing imagery for crop diseases and pests detection. *Frontiers in Plant Science, 15*, 143501. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.143501

Zou, X., Tian, Z., Hu, Y., & Shen, K. (2019). Logistic regression model optimization and case analysis. *Proceedings of the IEEE International Conference on Communication Software and Networks*. https://doi.org/10.1109/ICCSNT47585.2019.8962457

# Índice de Tablas

Tabla 1. *Desglose de las variables presentes en el café sostenible* ..... *86*
Tabla 2. *Factores de innovación en las que se establecen las certificaciones de café sostenible* ..... *87*
Tabla 3. *Valores de correlación entre variables de innovación con la probabilidad de innovación* ..... *121*
Tabla 4 *Análisis ANOVA con las todas variables de innovación* ..... *125*
Tabla 5. *Análisis ANOVA de variables con mayor impacto* ..... *126*
Tabla 6. *Coeficientes del modelo de regresión logística* ..... *128*
Tabla 7. *Análisis de sensibilidad del modelo* ..... *134*

# Índice de Fíguras

Figura 1. ***Principales certificaciones de café sostenible aplicadas en Colombia ..... 24***
Figura 2. *Precio interno y externo del café en los últimos diez años* ***..... 28***
Figura 3.*Diseño metodológico de la investigación ..... 58*
Figura 4.*Descripción del impacto de los factores y variables de innovación ..... 85*
Figura 5.*Distribución de variedades de café en las fincas estudiadas ..... 93*
Figura 6. *Producción de café especial según el tamaño de las fincas ..... 94*
Figura 7. *Distribución de la extensión de las fincas cafeteras (hectáreas) ..... 95*
Figura 8. *Distribución por rangos de edad de los caficultores ..... 97*
Figura 9. *Edad en la que los caficultores tienen mayor tendencia de producir café especial ..... 97*
Figura 10. *Nivel educativo de caficultores que tienen mayor disposición para producir café especial ..... 98*
Figura 11. *Distribución de certificaciones de café especial ..... 100*
Figura 12. *Canales de comercialización para café convencional y especia ..... 102*
Figura 13. *Análisis de agrupación de las fincas con producción de café normal y especial ..... 104*
Figura 14. Comparación de factores de innovación entre fincas con producción de café normal y especial ..... 105
Figura 15. *Etapas del proceso metodológico para la construcción del modelo ..... 112*
Figura 16. *Dendrograma de agrupación jerárquica de fincas que producen café convencional y especial ..... 114*
Figura 17. *Perfiles de innovación que tienen las fincas que producen café normal y especial ..... 115*
Figura 18. *Análisis de emparejamiento entre probabilidad de innovación y variables que están relacionadas con los factores de innovación ..... 118*
Figura 19. *Mapa de calor de correlaciones entre variables de innovación ..... 121*
Figura 20. *Residuos versus valores ajustados ..... 132*
Figura 21.*Curva ROC para evaluar la capacidad predictiva del modelo ..... 133*



Este libro se terminó de editar en el mes de
Abril de 2026, en la Editorial UPTC.
Tunja - Boyacá - Colombia.

Grupo de Investigación GITYD

El Grupo de Investigación en Tecnología y Desarrollo en Ingeniería (GITYD) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) orienta su labor a la generación de conocimiento, la innovación y la aplicación de soluciones en el ámbito de la ingeniería. Desde una perspectiva interdisciplinaria, fomenta la investigación, la formación investigativa y la vinculación con el entorno, con el propósito de aportar al desarrollo científico, tecnológico y social, y de consolidar una cultura académica comprometida con la transformación de la sociedad.

EDITORIAL UPTC

Colombia es uno de los países más reconocidos en el mundo por la calidad de su café. Sin embargo, muchos caficultores aún enfrentan retos importantes para mejorar sus procesos y lograr que sus fincas sean más productivas, sostenibles y competitivas.

A partir de una investigación realizada en 66 fincas cafeteras del municipio de Pitalito, en el departamento del Huila, los autores construyeron un modelo de innovación pensado en la realidad del campo colombiano. El trabajo identifica siete grandes áreas donde los caficultores pueden innovar: lo económico, lo social, lo ambiental, la producción, el conocimiento, la tecnología y la capacidad de adaptarse al cambio.

Los resultados son claros: las fincas que gestionan bien sus residuos, adoptan herramientas digitales y tienen apertura al cambio logran mejores precios y mayor calidad en su café. El modelo desarrollado puede predecir con un 97 % de precisión si una finca tiene o no capacidad de innovar.

Este libro está escrito para caficultores, técnicos, investigadores y personas que toman decisiones en el sector cafetero. Es una guía práctica que muestra cómo la innovación, aplicada con método y criterio, puede transformar el futuro del café especial en Colombia.

FVTVRVM ÆDIFICANTES

Uptc®
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
VIGILADA MINEDUCACIÓN

ISBN: 978-628-7863-48-4