

# 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 identificadas 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 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)
- $\sigma (p,q)$  = 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 cumplieran 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 al 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 dinámico 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, los 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 objetivas, 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.