

Experiencias multi-referenciales de innovación agropecuaria

Coordinador
Holmes Rodríguez Espinosa

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

Innovación

Experiencias multi-referenciales de innovación agropecuaria

segunda edición

Coordinador
Holmes Rodríguez Espinosa



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
Facultad de Ciencias Agrarias



El futuro
es de todos

DNP
Departamento
Nacional de Planeación



Segunda edición: abril 2023

ISBNe:978-628-7592-88-9

Coordinador y autor

Holmes Rodríguez-Espinosa

Ing. Agric, MSc, PhD, Profesor titular. Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia.

Corrección de texto

Ari Vélez

Angélica Gómez

Diseño y diagramación

Sandra María Arango, Oficio gráfico



Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Agrarias

Ciudadela de Robledo, Carrera 75 # 65-87

Teléfonos: (57-604) 219 91 76

Medellín, Colombia

Correo electrónico:

fondoeditorialbiogenesis@udea.edu.co



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- No Comercial- Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.



Página Web



Facebook

Autores

Angélica Torres-Ávila

Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. CIESTAAM -
Universidad Autónoma Chapingo.

Jorge Aguilar-Ávila

Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador
del CIESTAAM - Universidad Autónoma
Chapingo.

Enrique Genaro Martínez González

Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador
del CIESTAAM - Universidad Autónoma
Chapingo.

Norman Aguilar Gallegos

Ing. Agroind., MSc, DSc. Profesor investigador
del CIESTAAM - Universidad Autónoma
Chapingo.

Horacio Santoyo Cortés

Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador
del CIESTAAM - Universidad Autónoma
Chapingo.

José Luis Solleiro Rebolledo

Ing. Ind., DSc. Investigador Titular "B" del
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología,
Universidad Autónoma de México.

Jorge G. Ocampo Ledesma

Lic., MSc, DSc. Profesor investigador del
CIESTAAM - Universidad Autónoma Chapingo.

María Isabel Palacios Rangel

Lic., MSc, DSc. Profesora investigadora de la
División de Ciencias Forestales de la Universidad
Autónoma Chapingo. Miembro del núcleo
académico del CIESTAAM.

Adrián Lozano Toledano

Ing. Agron., Esp., MSc. Trabajador administrativo
de la Universidad Autónoma Chapingo. Profesor
de cátedra, Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia.

Lina María Gómez Betancur

Ing. Agron., MSc, DSc. Profesora de cátedra
de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad
de Antioquia, Grupo Gisas.

Sara María Márquez Girón

Ing. Agric., DSc. Profesora titular de la Facultad
de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia,
Grupo Gisas.

Luis Fernando Restrepo Betancur

Estad., Esp. Profesor titular de la Facultad
de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia,
Grupo Statistical.

Claudia M. Castaño Ramírez

Ing. Agropec., Est., MSc. Grupo de Investigación
en Agrociencias, biodiversidad y territorio
(GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia.

José Fernando Guarín

Zoot., MSc, PhD. Profesor asistente, Facultad de
Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia.

Diana Guzmán Álvarez

Ing. Agropec., DSc. Profesora de cátedra. Grupo
de Investigación en Agrociencias, biodiversidad
y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias
Agrarias, Universidad de Antioquia.

Vanessa Aguilar Marín

Eco, MSc. Grupo de Investigación en
Agrociencias, biodiversidad y territorio
(GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia.



Carmen Milena Guacaneme Barrera
Zoot, MSc. Grupo de Investigación en
Agrociencias, biodiversidad y territorio
(GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia.

Marisol Medina-Sierra
Ing. Agron, MSc, DrSc, Grupo de Investigación
en Agrociencias, biodiversidad y territorio
(GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia.

Lina Carrillo-Bonilla
MV, Msc, DSc. VERICEL-Facultad de Ciencias
Agrarias-Universidad de Antioquia.

Sara M. Robledo
Microbiol., Msc., DSc. PECET-Universidad
de Antioquia.

Andrés Vélez-Mira
Zoot. PECET-Universidad de Antioquia.

Iván Darío Vélez-Bernal
Med, Msc, PhD. PECET-Universidad de
Antioquia.

Holmes Rodríguez-Espinosa
Ing. Agric, MSc, Dr, Profesor titular. Grupo de
Investigación en Agrociencias, biodiversidad
y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias
Agrarias, Universidad de Antioquia.

Mario Fernando Cerón-Muñoz
Zoot, MSc, Dr, Profesor titular. Grupo de
Investigación en Agrociencias, biodiversidad
y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias
Agrarias, Universidad de Antioquia.

Manuela Ortega-Monsalve
Zoot., Estudiante de MSc, Grupo de
Investigación en Agrociencias, biodiversidad
y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias
Agrarias, Universidad de Antioquia.

Agradecimientos

Obra financiada con recursos del Plan de Acción de la Facultad de Ciencias Agrarias 2018-2021
“Una facultad comprometida con la excelencia académica, el buen vivir y el desarrollo agropecuario sostenible en los territorios”
y Cofinanciado por el proyecto CEDAIT – Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico de Innovación e Integración Territorial El Carmen de Viboral, Antioquia, Occidente, subproyecto Implementación de los Laboratorios Territoriales en las subregiones del Bajo Cauca, Suroeste, Occidente y Urabá, liderado por la Universidad de Antioquia y la Universidad Católica de Oriente, con recursos del Sistema General de Regalías y de la Gobernación de Antioquia.



Citación recomendada 2da edición

Rodríguez-Espinosa, H. (Coord.) (2023). Experiencias multi-referenciales de innovación agropecuaria. Medellín: Fondo Editorial Biogénesis.



Experiencias multi-referenciales de innovación agropecuaria. 2da edición.

Holmes Rodríguez Espinosa (Coordinador)

Fondo Editorial Biogénesis, 2023

Número de páginas: 238

ISBNe: 978-628-7592-88-9

Pautas metodológicas para el análisis de sistemas de innovación en cadenas agroalimentarias.

Aplicaciones metodológicas en la vinculación universitaria con comunidades rurales: la experiencia del CIESTAAM. Evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de fríjol (*Phaseolus vulgaris L.*), en el Oriente Antioqueño, Colombia. Lineamientos para la formulación participativa de programas de desarrollo agropecuario local. El análisis de clúster como herramienta para la toma de decisiones basada en la tipificación de los usuarios. El retorno social de la inversión (SROI) en los Laboratorios Territoriales de Necoclí y Cauca. Estudios ecoepidemiológicos de zoonosis en Colombia: de la teoría a la práctica en leishmaniasis (1983-2022). Uso de espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS para predecir algunas propiedades químicas de los suelos en Antioquia.

Contenido

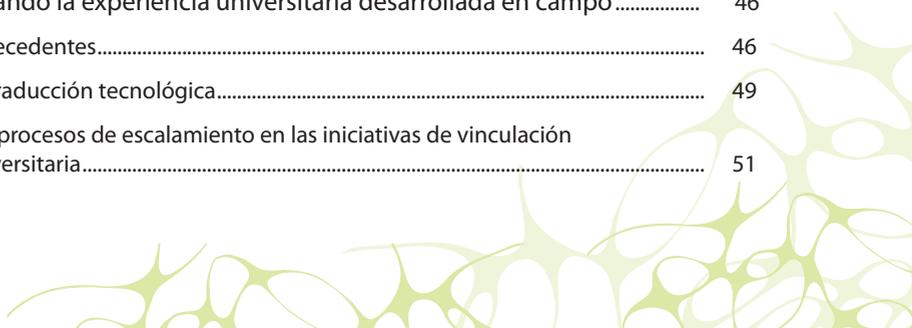
Presentación.....	13
-------------------	----

Capítulo 1.

Pautas metodológicas para el análisis de sistemas de innovación en cadenas agroalimentarias	15
1. Introducción	16
2. Metodología	18
3. Resultados	19
3.1. El soporte teórico	19
3.2. La propuesta de análisis.....	23
3.3. Aplicación práctica	28
4. Consideraciones finales	32

Capítulo 2.

Aplicaciones metodológicas en la vinculación universitaria con comunidades rurales: la experiencia del CIESTAAM.....	37
1. Introducción	38
2. La hibridación metodológica: una estrategia para insertarse en la complejidad rural.....	42
2.1. Los métodos hibridados para profundizar en la realidad.....	43
2.2. Secuencia metodológica en la vinculación universitaria con comunidades rurales	44
3. Recuperando la experiencia universitaria desarrollada en campo	46
3.1. Antecedentes.....	46
3.2. La traducción tecnológica.....	49
3.3. Los procesos de escalamiento en las iniciativas de vinculación universitaria.....	51



3.4. Delegando responsabilidades en la vinculación universitaria	51
3.5. El mecanismo espejo, al trabajar en territorios distintos y distantes	53
3.6. El diálogo como pilar de la vinculación universitaria.....	53
3.7. La inserción comunitaria	56
4. Tres enfoques metodológicos híbridos	58
4.1. El análisis desde las redes.....	61
4.2. Las genealogías.....	66
4.3. Las trayectorias tecnológicas	70
5. Conclusiones	73

Capítulo 3.

Evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>), en el Oriente Antioqueño, Colombia	77
1. Introducción	78
2. Metodología	82
2.1. Arreglos espaciales en los sistemas de producción de la asociación frijol-maíz	86
2.2. Metodología estadística	87
3. Resultados y discusión.....	88
3.1. Evaluación rápida de suelo.....	88
3.2. Evaluación de los tratamientos de asociación frijol-maíz.....	91
4. Conclusiones	97

Capítulo 4.

Lineamientos para la formulación participativa de programas de desarrollo agropecuario local	101
1. Introducción	102
2. Metodología	105
3. Resultados y discusión.....	108
3.1. Visitas a fincas y caracterización con base en la realización de encuestas.....	108
3.2. Talleres de diagnóstico.....	111

3.3. Talleres de priorización	111
3.4. Análisis de las relaciones entre las variables	114
3.5. Elaboración de perfil de proyectos.....	115
3.6. Lecciones aprendidas	115
4. Conclusiones	117

Capítulo 5.

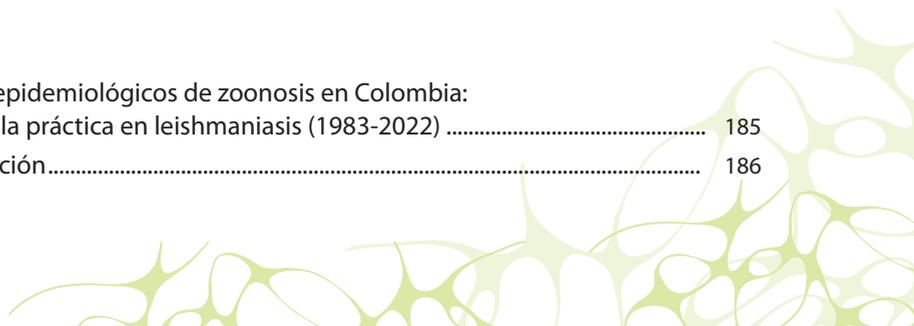
El análisis de clúster como herramienta para la toma de decisiones basada en la tipificación de los usuarios	121
1. Introducción	122
2. Metodología	124
3. Resultados y discusión.....	125
3.1. Marco conceptual	125
3.2. Tendencia de la investigación sobre análisis de clúster	130
3.3. El análisis de clúster en el sector agropecuario	134
3.4. Modelo de toma de decisiones con enfoque de clúster.....	138
3.5. Caso de aplicación de segmentación de usuarios	140
4. Conclusiones	146

Capítulo 6.

El retorno social de la inversión (SROI) en los Laboratorios Territoriales de Necoclí y Cauca	153
1. Introducción	154
2. Materiales y métodos	164
3. Resultados y discusión.....	169
4. Conclusiones	177

Capítulo 7.

Estudios ecoepidemiológicos de zoonosis en Colombia: de la teoría a la práctica en leishmaniasis (1983-2022)	185
1. Introducción.....	186



2.	Algunos conceptos básicos	188
2.1.	La leishmaniasis	188
2.2.	La ecoepidemiología.....	192
3.	Adaptación metodológica para los estudios de foco en leishmaniasis.....	194
3.1.	Estudio de población humana	195
3.2.	Búsqueda de reservorios	197
3.3.	Estudio entomológico	198
3.4.	Caracterización antropológica	199
3.5.	Caracterización ecológica	200
3.6.	Análisis estadístico.....	201
4.	Resultados y avances de los estudios de foco	202
5.	Conclusiones.....	208

Capítulo 8.

	Uso de espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS para predecir algunas propiedades químicas de los suelos en Antioquia	217
1.	Introducción.....	218
2.	Metodología.....	222
2.1.	Análisis por química húmeda	222
2.2.	Proceso de obtención de muestras y preparación de muestras para lectura del NIRS	222
3.	Resultados: obtención de espectros y análisis estadístico.....	227
4.	Conclusiones.....	234



Presentación

Esta obra está enmarcada en el Plan de Acción 2018-2021 de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, en el reto “Aportar al Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria integrando la investigación y la extensión”. Este tiene como propósito interconectar la investigación, la extensión y la innovación para mejorar el relacionamiento con el sector productivo; fortalecer las alianzas público-privadas nacionales e internacionales; nutrir las redes del conocimiento y gestionar la innovación.

En este Plan de Acción se formuló el proyecto “Gestión de la innovación”, que tuvo como uno de sus componentes la gestión del talento humano para la innovación, el cual estuvo orientado a identificar la oferta de sistematización de los saberes propios del ejercicio profesoral, la diversificación de formatos y canales de publicación y la consolidación de redes de conocimiento para fortalecer la presencia e interacción universitaria con los productores agropecuarios.

De esta forma, se propuso como meta la publicación de un libro anual que, por una parte, recoja la experiencia de los docentes de esta dependencia en el cumplimiento de sus

ejes misionales de docencia, investigación y extensión y, por otra, permita la difusión del conocimiento generado en la facultad, de manera que se pueda mejorar la visibilidad del quehacer universitario a la vez que se contribuye a la sociedad mediante la gestión del conocimiento.

Este quinto volumen está dedicado a las experiencias multi-referenciales de innovación y está orientado a la generación de nuevo conocimiento que contribuya a la dinamización del “Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria”, creado por la Ley 1876 de 2017. En este contexto, se entiende por experiencia multi-referencial de innovación la introducción de nuevos procesos y métodos que incorporen mejoras significativas en el desempeño del docente universitario y que promuevan la apropiación social del conocimiento y la generación de capacidades en el sector agropecuario.

Considerando lo anterior, este libro recoge experiencias de innovación educativa, como metodologías de formación, evaluación, uso de tecnologías y gestión del aprendizaje; innovación extensionista, como metodologías de intervención, medición de impacto, uso de tecnologías y gestión del proceso, e innovación investigativa, como metodologías de investigación, técnicas de análisis cuantitativas y cualitativas, uso de tecnologías y gestión de la investigación.



Capítulo I.

Pautas metodológicas para el análisis de sistemas de innovación en cadenas agroalimentarias

Angélica Torres-Ávila

Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. CIESTAAM - Universidad Autónoma Chapingo

Jorge Aguilar-Ávila

*Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador del CIESTAAM
- Universidad Autónoma Chapingo*

Enrique Genaro Martínez González

*Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador del CIESTAAM
- Universidad Autónoma Chapingo*

Norman Aguilar Gallegos

*Ing. Agroind., MSc, DSc. Profesor investigador del CIESTAAM
- Universidad Autónoma Chapingo*

Horacio Santoyo Cortés

*Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador del CIESTAAM
- Universidad Autónoma Chapingo*

José Luis Solleiro Rebolledo

*Ing. Ind., DSc. Investigador Titular "B" del Instituto de Ciencias Aplicadas
y Tecnología, Universidad Autónoma de México*

Resumen

El sistema de innovación es un enfoque analítico importante en el estudio de la innovación en el contexto agrícola pues permite captar su

naturaleza dinámica y compleja; por ello, resulta oportuno el desarrollo de un esquema de análisis para el estudio de los sistemas de innovación agrícolas. El objetivo de este trabajo fue describir los pasos generales para el análisis de un sistema de innovación en el contexto de una cadena agroalimentaria, para lo cual se realizó una revisión documental exhaustiva a través de la plataforma de información *Web of Science*. Como resultado, se planteó un esquema de análisis para el estudio de los sistemas de innovación agrícolas y posteriormente se aplicó a la cadena de valor del girasol alto oleico en México. Se concluye que el análisis del sistema de innovación desde una perspectiva funcional ofrece una comprensión amplia sobre el rendimiento de un sistema y permite dilucidar su dinámica. Así mismo, se observa que la extensión del análisis funcional hacia los eslabones más importantes de la cadena de valor es un acierto importante, pues las debilidades funcionales pueden originarse en una coordinación débil entre los eslabones.

Palabras clave: *cambio tecnológico, agroindustria, cadenas de valor agrícolas*

I. Introducción

El sistema de innovación se ha posicionado como un enfoque analítico importante en el estudio de la innovación, pues posibilita la comprensión de su naturaleza dinámica y compleja; además, incluye los cambios que la noción de innovación ha tenido a lo largo de los años. En este sentido, el enfoque comprende, por una parte, que la innovación incluye múltiples actores que participan con diferentes habilidades y recursos y cuya actuación está circunscrita por el entorno institucional. Por otra parte, entiende la innovación como resultado más allá de una tecnología o práctica tecnológica; esto es, la entiende como una colección de innovaciones parciales o un paquete de innovaciones (Leeuwis et al.,

2006) que resultan de la sinergia de varias dimensiones para apoyar al “desembalaje” de una innovación central en un contexto local específico (Low & Thiele, 2020; Triomphe et al., 2012).

De esta manera, un sistema de innovación se define como:

un conjunto de componentes relacionados entre sí (individuos, organizaciones, organismos públicos o instituciones) que trabajan a través de la colaboración y la competencia para generar, difundir y utilizar el conocimiento y la tecnología que tiene un valor económico en el sector agrícola. (Sumberg, 2005, p. 37)

Para su análisis, un sistema puede definirse a distintos niveles (nación, región, sector); sin embargo, es de interés aquel nivel de análisis que permite aproximarse mejor a la comprensión del contexto en el que se producen las innovaciones (Arocena & Sutz, 2003). En este sentido, es necesario definir el sistema a un nivel cada vez más específico y orientarlo a atender problemas particulares (Anandajayasekeram et al., 2009), con cuidado de no simplificar demasiado. Por tanto, se puede comenzar a delinear a partir de la elección de aquellas interacciones entre los componentes que sean más intensas que las interacciones entre el sistema y su entorno (Markard & Truffer, 2008).

Teniendo en cuenta los elementos anteriores, en este trabajo se considera que el foco de análisis debe ubicarse al nivel de una cadena agroalimentaria con un producto agrícola específico y debe incluir las trayectorias tecnológicas asociadas. Esto es muy relevante pues se sostiene que, aun cuando una innovación solo tenga como adoptantes directos a los agricultores, es muy posible que su desarrollo y sostenibilidad ocurran siempre y cuando haya aprobación significativa en cada punto de la cadena de valor (Vanclay et al., 2013). Considerando tales circunstancias, este nivel de análisis implica que los límites de un sistema deben circunscribirse a un sistema socio-técnico que abarque toda

la cadena de valor relacionada con la oferta del producto agrícola en cuestión (van Welie et al., 2019).

Así, este trabajo tiene como objetivo describir los pasos generales para el análisis de un sistema de innovación en el contexto de una cadena agroalimentaria, de modo que sirvan como una guía de trabajo para que analistas y tomadores de decisiones comprendan la innovación.

2. Metodología

Para alcanzar el objetivo planteado se realizó una revisión documental utilizando la plataforma de información *Web of Science*. Esta búsqueda tuvo dos etapas: en la primera se efectuó la exploración de literatura concerniente al concepto de “Sistema de Innovación” en todos los contextos en el periodo de 1990 a 2019; en la segunda se realizó la revisión del concepto de sistema de innovación, para el mismo periodo, en el contexto agrícola; para ello se utilizaron varios criterios de búsqueda (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de búsqueda

Palabras clave utilizadas	Marco temporal	Búsqueda avanzada limitada a
(“Innovation systems” or “Innovation system” or “Systems innovation” or “System innovation” or “Systems of innovation” or “System of innovation”) and (“agriculture” or “farming” or “agrifood” or “producer” or “farm” or “grower” or “farmer” or “agricultural”)	1990-2019	Tema (título, abstract, palabras clave)

Fuente: elaboración propia

A partir de lo anterior se identificaron varios documentos sobresalientes relacionados con el análisis de los sistemas de innovación. Como traba-

jos referenciales en el estudio de los sistemas destacan las propuestas de análisis funcional de Bergek et al. (2008) y de Hekkert & Negro (2009). Con la información obtenida se identificaron y enlistaron los pasos metodológicos para el estudio de un sistema de innovación agrícola y luego se aplicó el esquema de análisis obtenido a la cadena de valor del girasol alto oleico en México.

Ahora bien, para la obtención de la información referente a la cadena de valor del girasol se utilizaron varias estrategias. Primero se recopilaron 60 documentos referentes al cultivo de girasol en México publicados entre 1965 y 2018. En segundo lugar, se recabaron estadísticas agroalimentarias de varios repositorios (SIAVI, SIAP y FAOSTAT), con lo cual se obtuvieron variables como superficie sembrada, producción, regiones productoras, importaciones y exportaciones de la semilla y el aceite de girasol. De manera complementaria se realizaron trece entrevistas semiestructuradas a actores clave de los diferentes eslabones de la cadena de valor.

La información obtenida del caso del girasol alto oleico se sistematizó y analizó siguiendo los pasos metodológicos esbozados. Es de mencionarse que la aplicación de los pasos metodológicos en un caso práctico permitió hacer adecuaciones al planteamiento inicial.

3. Resultados

3.1. *El soporte teórico*

El énfasis analítico de los sistemas de innovación se centra en dos visiones: la estructural y la funcional. La visión estructural se basa en la identificación de los componentes que configuran su arquitectura (actores, interacciones, instituciones e infraestructura), y tradicionalmente ha sido la más utilizada como fuente de información con relación al

éxito o fracaso de un sistema (Bergek et al., 2008; Wieczorek & Hekkert, 2012). Sin embargo, la literatura científica la considera insuficiente porque únicamente capta el aspecto estático de un sistema, lo cual no deja suficientes aprendizajes para el desarrollo de políticas. Esto se contrapone a la concepción dinámica y cambiante de un sistema en el que se acumulan y transforman los componentes estructurales a lo largo del tiempo (Hekkert & Negro, 2009; Suurs, 2009). Por otra parte, no existe una configuración óptima de un sistema en la que se identifiquen plenamente los atributos que los componentes deben tener para generar un buen rendimiento. Además, la contribución de un componente estructural particular no se puede evaluar sin reconocer sus efectos en los procesos de innovación (Bergek et al., 2008).

En contraste, la visión funcional enfatiza en las actividades que se deben llevar a cabo para que un sistema funcione adecuadamente. En los últimos años la visión funcional ha tomado gran relevancia por su atención a la naturaleza dinámica del sistema, así como por su capacidad para analizar la evolución del mismo y su rendimiento, lo cual posibilita identificar sus fortalezas y debilidades y tiene aplicación en la formulación de políticas (Bergek et al., 2008; Hekkert & Negro, 2009). Ahora bien, la literatura científica expone siete funciones del sistema de innovación (Bergek et al., 2008; Meijer et al., 2007):

Función 1 - actividades empresariales: son las actividades relacionadas con nuevas empresas y con las ya existentes en torno a una tecnología, incluida la experimentación. Los emprendedores son muy importantes para superar la incertidumbre presente en la etapa inicial en el desarrollo de una tecnología.

Función 2 - desarrollo de conocimiento: se refiere a las actividades relacionadas con el aprendizaje sobre los aspectos técnicos, sociales y eco-

nómicos de una nueva tecnología. Estas actividades son un requisito previo para la innovación.

Función 3 - difusión de conocimiento: hace referencia al flujo de información referente a la tecnología y los aspectos relacionados con ella. Ocurre a través de actividades de red y su despliegue es crucial para las decisiones que están tomando los diferentes actores de innovación, incluidos la investigación, el gobierno y la competencia.

Función 4 - orientación de la búsqueda: involucra todas las actividades relacionadas con la creación de expectativas, visiones y creencias sobre el potencial y futuro de una nueva tecnología e incentivos para su adopción. La identificación de oportunidades y la articulación de la demanda deben tener suficientes incentivos o presiones para que las empresas busquen oportunidades y emprendan inversiones en la nueva tecnología.

Función 5 - formación de mercado: se refiere a las actividades que posibilitan la creación de un espacio protegido para la nueva tecnología. Es posible que los mercados no existan, o estén muy subdesarrollados, para una nueva tecnología; por tanto, la nueva tecnología tendrá dificultades para competir con las tecnologías existentes.

Función 6 - movilización de recursos: incluye todas las actividades relacionadas con la movilización de recursos financieros, de capital y humanos. En algunos casos, también implica la construcción de infraestructura física y de conocimiento.

Función 7 - creación de legitimidad: involucra las actividades que contribuyen a que una tecnología forme parte del régimen existente y a que, de ser necesario, lo transforme para que la tecnología y sus defensores se consideren apropiados y deseables. De esta manera se hace posible movilizar recursos, formar la demanda y empoderar políticamente a los actores.

La perspectiva de análisis funcional se ha aplicado y validado principalmente en tecnologías de energía renovable y, muy recientemente, en el contexto agrícola, principalmente en países desarrollados. Cabe entonces preguntar si este conjunto de funciones es aplicable al contexto de un país en desarrollo. La respuesta es afirmativa, pero se considera oportuno agregar una función más, a saber, la creación de capacidad adaptativa (Edsand, 2017; van Alphen et al., 2008). Al tratarse de países en desarrollo, una característica importante de la innovación es el papel que ocupan el desarrollo y la acogida de conocimientos generados en otros países; por tanto, una actividad indispensable del país receptor es la adaptación de estos conocimientos a las condiciones locales.

Función 8 - creación de capacidad adaptativa: se refiere a las actividades que contribuyen a mejorar la capacidad que tiene el sistema para recibir una nueva tecnología y adaptarse a las nuevas circunstancias. De esta manera, incluye el desarrollo y fortalecimiento de nuevas habilidades entre los actores del sistema. Se puede explorar examinando la capacidad humana, organizativa e institucional.

La presente propuesta plantea algunos cambios al planteamiento general sobre el análisis funcional formulado por Bergek et al. (2008) y Hekkert & Negro (2009), principalmente para tecnologías únicas en el contexto industrial de países desarrollados. Primero, se amplía el análisis funcional hacia todos los puntos de la cadena de valor, con lo cual es posible identificar las interdependencias existentes entre los eslabones y sus implicaciones en la innovación (van Welie et al., 2019). Esto es importante pues la deficiencia en un eslabón específico puede influir en la funcionalidad general del sistema de innovación. Segundo, se agrega una función más, la creación de capacidad adaptativa, pertinente en el contexto de los países en desarrollo.

3.2. La propuesta de análisis

A la luz de los elementos planteados en el apartado anterior, se proponen los siguientes pasos para el análisis de un sistema de innovación agrícola. Si bien los pasos se exponen de manera secuencial para dar claridad, su desarrollo en la práctica más bien comprende un proceso iterativo (Figura 1).

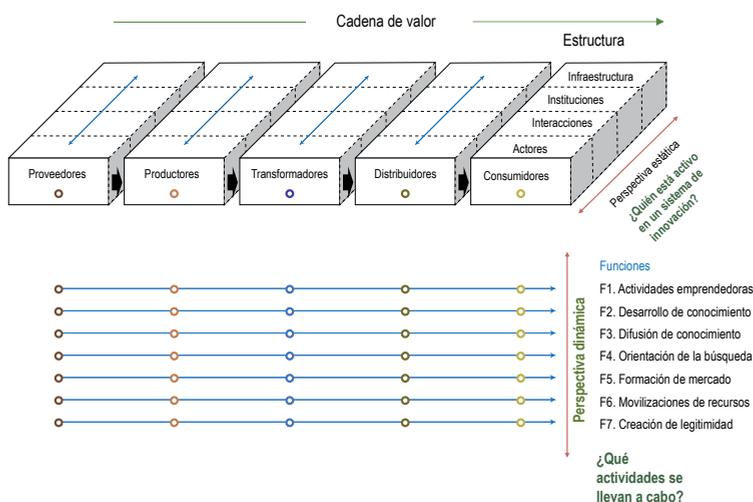


Figura 1. Marco analítico y metodológico de los sistemas de innovación en cadenas agroalimentarias

Fuente: elaboración propia

a. Delineación del sistema foco de análisis

En este paso se define el producto principal de la cadena de valor y se hace una identificación inicial de las principales trayectorias tecnológicas asociadas. Por tanto, conviene definir de manera preliminar el alcance espacial, temporal y tecnológico, si bien a medida que la investigación avanza estos se van redefiniendo.

El alcance espacial se refiere a definir el área geográfica. El alcance temporal incluye la especificación del periodo o periodos que abar-

ca el estudio del sistema. El alcance tecnológico, por su parte, implica vislumbrar las principales tecnologías y sus trayectorias; sobre estas se centrará el análisis.

b. Identificación de componentes estructurales

Una vez delineado el sistema que será foco de análisis, el segundo paso es analizar su estructura. En este punto deben incluirse todos los actores, redes, infraestructuras e instituciones que aportan a cada uno de los segmentos de la cadena de valor. Los actores son la parte operativa de un sistema e incluyen cualquier agente que contribuye con sus capacidades y recursos a la innovación. Por tanto, el desarrollo de un sistema depende de la presencia, las habilidades y la disposición de los actores (Suurs, 2009).

Las interacciones se refieren a las relaciones entre actores, instituciones e infraestructura, así como entre componentes estructurales. Su desarrollo es importante para el intercambio de conocimientos, la transferencia de tecnología y la creación de una visión compartida (Wieczorek & Hekkert, 2012).

Las instituciones se refieren a las reglas del juego que regulan el comportamiento de los actores y que por tanto influyen en la dirección y velocidad de la innovación. Se distinguen dos tipos: las instituciones formales, que incluyen las reglas codificadas y aplicadas por alguna autoridad, y las instituciones informales, que son más tácitas y están moldeadas por la interacción colectiva de los actores. Estas últimas, además, se dividen en normativas y cognitivas: las reglas normativas son normas y valores sociales con significado moral, mientras que las reglas cognitivas pueden considerarse marcos mentales colectivos o paradigmas sociales (Suurs, 2009).

La infraestructura integra tres categorías: la infraestructura física, que abarca artefactos, instrumentos, máquinas, carreteras, edificios, redes de telecomunicaciones, puentes y puertos; la infraestructura del conocimiento, que incluye conocimiento, experiencia, *know-how* e información estratégica y, por último, la infraestructura financiera que incluye subsidios, programas financieros, subvenciones y otros (Wieczorek & Hekkert, 2012).

La identificación de los componentes constituye un primer acercamiento y se retroalimenta con la siguiente etapa de análisis.

c. **Mapeo de las funciones del sistema de innovación**

En este momento del análisis se determina en qué medida los componentes estructurales cumplen con las funciones de los sistemas de innovación. Para operativizar las funciones varios autores han propuesto una serie de indicadores que sirven como guía para el analista, pues en la realidad cada función puede cumplirse de diferentes maneras.^{2,5}

Los indicadores que se muestran en la Tabla 2 se definen a través de la identificación de eventos. Un evento es la unidad elemental de análisis, se refiere a sucesos internos y externos que acontecen en un determinado momento e incluyen a los actores involucrados, lo que hicieron y el contenido y los alcances del suceso. De esta manera los eventos se corresponden con cada una de las funciones.

La información requerida se recopila mediante la revisión de fuentes de información secundaria y entrevistando a los actores involucrados en el desarrollo del sistema. La recopilación de esta información para el análisis de las funciones incluye la identificación de componentes estructurales y su contribución al cumplimiento de cada una de las funciones

Tabla 2. Eventos como indicadores de las funciones del SI

Función	Tipos de eventos
F1. Actividades empresariales	Participación en proyectos de innovación Inversiones en una nueva tecnología
F2. Desarrollo del conocimiento	Proyectos de investigación científica Publicaciones científicas
F3. Difusión del conocimiento	Actividades de difusión (talleres, cursos, capacitaciones) Redes de información
F4. Orientación de la búsqueda	Documentos de visión compartida Acuerdos entre actores Reclamaciones
F5. Formación de mercado	Desgravaciones fiscales Regulaciones que afectan directamente ciertos procesos de producción
F6. Movilización de recursos	Subsidios Inversiones públicas y privadas
F7. Creación de legitimidad	Presión pública para resolver un problema
F8. Creación de capacidad adaptativa	Investigadores/profesionales vigentes relacionados con la cadena de valor Publicaciones científicas Innovaciones logradas

Fuente: adaptado de Hekkert et al. (2007) y Hekkert & Negro (2009)

a través del tiempo, así como de influencias externas que habilitan o dificultan el proceso de innovación.

La búsqueda de información se desarrolla como un proceso iterativo, recopilando tantos eventos como sea posible, hasta que resulte una imagen clara sobre el funcionamiento del sistema y ya no se puedan identificar más actores, relaciones y eventos relevantes. Los datos recopilados de las diversas fuentes se triangulan y complementan para garantizar la fiabilidad de la información.

Los eventos identificados se organizan de forma cronológica en una base de datos, para lo cual cada evento se clasifica y asigna sistemáticamente a una función particular del sistema según corresponda. Este proceso se realiza de forma inductiva. El resultado es una secuencia de eventos que representan la forma en la que se desarrollan los procesos de innovación.

d. Identificación de patrones funcionales y narrativa de las funciones

Con la base de datos obtenida se genera una narrativa de los eventos más relevantes en la que se ilustra su secuencia y se resaltan las circunstancias que posibilitan o impiden la evolución del sistema foco de análisis, en términos del cumplimiento y relacionamiento de las funciones. Esta narrativa o descripción histórica permite ver cómo las funciones se refuerzan o bloquean mutuamente en el tiempo, lo que a su vez permite identificar patrones funcionales. Un patrón funcional se refiere a la secuencia de funciones que facilitan que se produzca la innovación.

e. Evaluación del funcionamiento del sistema de innovación y propuesta de mejora

Hasta este punto el análisis únicamente proporciona información sobre la dinámica del sistema, pero no indica de manera directa si el sistema de innovación funciona correctamente o no. Por tanto, una vez se ha descrito el estado de cada una de las funciones y se han identificado patrones funcionales, el analista puede asignar a cada función una puntuación para evaluar el rendimiento del sistema. Para ello se plantea el uso de una escala de Likert de cinco puntos para evaluar cada función en cada eslabón de la cadena, donde: (1) equivale a ausencia, (2) débil, (3) moderada, (4) fuerte y (5) muy fuerte (Tabla 3).

Tabla 3. Evaluación de funciones a través de la cadena de valor

Funciones	Cadena de valor				
	Eslabón 1	Eslabón 2	Eslabón 3	Eslabón 4	Eslabón 5
F1. Actividades empresariales					
F2. Desarrollo de conocimiento					
F3. Difusión de conocimiento a través de redes					
F4. Orientación a búsqueda					
F5. Formación de mercado					
F6. Movilización de recursos					
F7. Creación de legitimidad					
F8. Creación de capacidad adaptativa					

Fuente: elaboración propia basada en van Welie et al. (2019)

Esta evaluación también puede ser hecha o verificada por los principales actores del sistema, a quienes se les pueden mostrar los resultados obtenidos sobre las actividades realizadas en el tiempo y pedirles que califiquen su nivel de satisfacción con el cumplimiento de cada función. Con base en los resultados actuales del sistema se identifican factores impulsores y detractores, lo cual posibilita especificar mejoras en términos de cómo impulsar el desarrollo del sistema para alcanzar un mayor rendimiento.

3.3. Aplicación práctica

Con el fin de presentar una aplicación práctica se analizó el caso de la cadena de valor del girasol alto oleico (para más información consultar Torres-Ávila et al., 2021).

Delineación del sistema foco de análisis: el estudio se centró en la cadena de valor del girasol en México. Dado que es un cultivo que se pue-

de producir en varias partes del país, el análisis incluyó la escala nacional en el periodo de 2008-2019. El alcance tecnológico involucró los genotipos de alto oleico de origen extranjero.

Identificación de los componentes estructurales: debido al uso que se da a las semillas para la extracción de aceite, el cultivo de girasol se encuentra integrado a una cadena de valor más amplia que incluye diferentes oleaginosas producidas en el país (Figura 2). Sin embargo, la producción de girasol no ha destacado como un cultivo comercial y ha permanecido con una superficie de producción circunstancial.

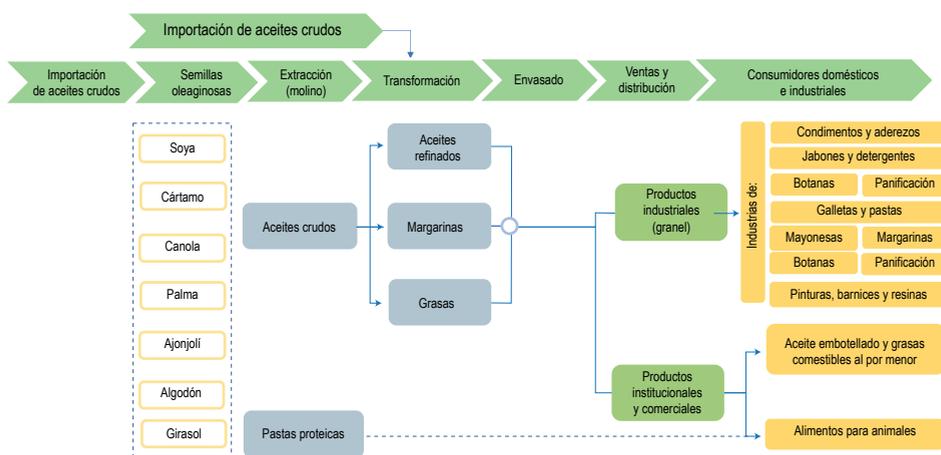


Figura 2. Cadena de valor de aceites y grasas comestibles
Fuente: elaboración propia

Identificación de patrones funcionales y narrativa de las funciones: la demanda de productos agroalimentarios con un contenido limitado o libres de grasas saturadas y grasas trans por parte de los consumidores; las regulaciones que se han implementado en relación con su uso y, así, los avances tecnológicos en el mejoramiento de las oleaginosas con una mejor composición de ácidos grasos con mejores cualidades fun-

cionales y nutricionales [**F4-Orientación a búsqueda**] han conducido a la agroindustria alimentaria mundial a la búsqueda de alternativas para producir alimentos libres de estas grasas. Esta tendencia no ha sido la excepción en México, por lo que la producción de girasol alto oleico se vislumbró como una opción y se posibilitó la reactivación del cultivo en el país [**F5-Formación de mercado**].

Por lo anterior, varios actores comenzaron a integrarse para impulsar el cultivo de girasol alto oleico. Las intervenciones fueron propiciadas inicialmente por la industria de botanas [**F1-Actividades empresariales y F6-Movilización**]. Este cultivo tomó mayor impulso al ser integrado por el gobierno como un cultivo de reconversión productiva [**F4-Orientación a búsqueda**], lo cual propició que fuera objeto de varios tipos de apoyos económicos y asesoría técnica [**F6-Movilización de recursos**]. Además, otros actores se fueron involucrando en la actividad y su participación permitió la adquisición de maquinaria y equipo, así como el desarrollo de infraestructura [**F6-Movilización de recursos**].

En algunos estados se iniciaron actividades de validación y transferencia de tecnología para el cultivo a cargo de actores como el Inifap (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), las Fundaciones Produce, universidades y otros actores [**F2-Desarrollo de conocimiento y F8-Creación de capacidad adaptativa**].

Evaluación del funcionamiento del sistema de innovación y propuesta de mejora: si bien el patrón funcional inicial permitió la reactivación del cultivo de girasol en varias partes del país, las actividades no han sido suficientes para garantizar la sostenibilidad del cultivo. Esta situación se refleja en la superficie de producción: entre 2009 y 2014 la superficie sembrada pasó de 230 a 15.624 hectáreas; sin embargo, para 2019 esta superficie tuvo una caída abrupta a tan solo 3.261 hectáreas.

Para comprender los resultados obtenidos se evaluaron las funciones en los eslabones de la cadena de valor. Dado que se trata de un cultivo emergente con una articulación incipiente se eligieron solo los dos eslabones que se consideran más importantes (Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación de funciones a través de la cadena de valor

Funciones	Cadena de valor	
	Producción de girasol	Proceso de industrialización (industria aceitera)
F1. Actividades empresariales	Débil	Débil
F2. Desarrollo de conocimiento	Ausencia	Ausencia
F3. Difusión de conocimiento a través de redes	Ausencia	Ausencia
F4. Orientación a búsqueda	Moderada	Débil
F5. Formación de mercado	Débil	Débil
F6. Movilización de recursos	Moderada	Débil
F7. Creación de legitimidad	Moderada	Débil
F8. Creación de capacidad adaptativa	Débil	Débil

Fuente: elaboración propia con base en Torres-Ávila et al. (2021)

A partir de la Tabla 4 se puede concluir que el despliegue de las funciones ha sido limitado a lo largo de toda la cadena de valor, principalmente en los eslabones de los agricultores y la industria aceitera, donde hay una débil articulación. Estas circunstancias se explican por la presencia de varios bloqueos que dificultan la generación de círculos virtuosos entre las funciones del sistema de innovación.

Desarrollo y difusión de conocimiento y creación de capacidad adaptativa [F2, F3 y F8]: el girasol ha sido un cultivo de baja prioridad dentro de los esquemas de investigación en México. Bajo esas circunstancias, la introducción de genotipos importados requirió la validación, adaptación y difusión de tecnologías relacionadas con un manejo agronómico adecua-

do. Sin embargo, estas actividades se han desarrollado de manera muy limitada y se han caracterizado por la ausencia de actores orientados al desarrollo y fortalecimiento de las capacidades de los agricultores.

Formación de mercado y actividades empresariales [F5 y F1]: las condiciones iniciales permitieron que se desarrollara un mercado provisional para la semilla de girasol alto oleico orientado a la producción de botanas. No obstante, en términos generales el mercado para la producción de aceite de girasol es inmaduro, pues existen varios tipos de aceites bien posicionados y más competitivos. Esto hace que la participación de la industria aceitera sea menor, aun cuando el aceite de girasol posee mejores cualidades funcionales y nutricionales que otros aceites oleaginosos.

Movilización de recursos y creación de legitimidad [F6 y F7]: las acciones gubernamentales para promover el cultivo han sido intermitentes e inconsistentes. Estas acciones privilegian la generación de resultados a corto plazo con impactos reducidos. Además, no existe una presión determinante por parte de la sociedad civil que incentive el uso de grasas sanas en la fabricación de alimentos procesados.

4. Consideraciones finales

Se concluye que las ocho funciones ofrecen una comprensión amplia sobre: i) el rendimiento del sistema a través de la evaluación de cada función, pues en su conjunto ofrecen una medida del rendimiento del sistema y ii) la dinámica del sistema de innovación, por medio de la cual es posible comprender las determinantes del cambio. Lo anterior a su vez permite guiar a quienes formulan políticas y a otros agentes en la propuesta de recomendaciones políticas integrales para mejorar el desarrollo de la innovación, a partir de lo cual es posible atender los puntos críticos en este tipo de procesos.

Esta propuesta integral de mejora se facilita cuando el análisis funcional se amplía hacia los eslabones más importantes de las cadenas de valor, pues las actividades a realizar dejan de aplicarse a niveles singulares y de forma aislada y más bien involucran la interdependencia existente entre los diferentes segmentos de la cadena en materia de innovación. Esto es particularmente importante pues las debilidades funcionales pueden tener su origen en una coordinación débil entre los eslabones.

Referencias bibliográficas

- Anandajayasekeram, P., Puskur, R. & Zerfu, E. (2009). *Applying innovation system concept in agricultural research for development - A learning module*. http://mahider.ilri.org/bitstream/handle/10568/167/Innovation_System_Agric_LM.pdf?sequence=1
- Arocena, R. & Sutz, J. (2003). *Subdesarrollo e innovación: navegando contra el viento*. Cambridge University Press.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S. & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37, 407–429. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
- Edsand, H.-E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, 49, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.01.002>
- Hekkert, M.P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S. & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413–432. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Hekkert, M. P. & Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. *Technological Forecasting & Social Change*, 76, 584–594. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.04.013>

- Leeuwis, C., Smits, R., Grin, J., Klerkx, L., van Mierlo, B. & Kuipers, A. (2006). *The Design of an Innovation- Enhancing Environment* (No. 4).
- Low, J. W. & Thiele, G. (2020). Understanding innovation: The development and scaling of orange-fleshed sweetpotato in major African food systems. *Agricultural Systems*, 179, 102770. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102770>
- Markard, J. & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596–615. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.004>
- Meijer, I. S. M., Hekkert, M. P. & Koppenjan, J. F. M. (2007). The influence of perceived uncertainty on entrepreneurial action in emerging renewable energy technology; biomass gasification projects in the Netherlands. *Energy Policy*, 35(11), 5836–5854. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.009>
- Sumberg, J. (2005). Systems of innovation theory and the changing architecture of agricultural research in Africa. *Food Policy*, 30, 21–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2004.11.001>
- Suurs, R. A. (2009). *Motors of Sustainable Innovation-Towards a theory on the dynamics of technological innovation systems*. Utrecht University.
- Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H. & Martínez-González, E. G. (2021). Trayectoria del sistema de innovación del cultivo de girasol en México, 1965-2018. *Historia Agraria*, 83, 191–224. <https://doi.org/10.26882/histagrar.083e06t>
- Triomphe, B., Floquet, A., Kamau, G., Letty, B., Davo Vodouhe, S., N'gan'ga, T. & Hocdé, H. (2012). What does an inventory of recent innovation experiences tell us about agricultural innovation in Africa? *10th European IFSA Symposium*, 10.
- van Alphen, K., Hekkert, M. P. & van Sark, W. G. J. H. M. (2008). Renewable energy technologies in the Maldives—Realizing the potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 162–180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.006>
- van Welie, M. J., Truffer, B. & Yap, X.-S. (2019). Towards sustainable urban basic services in low-income countries: A Technological Innovation System analysis of sanitation value chains in Nairobi. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 33, 196–214. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.06.002>

- Vanclay, F. M., Russell, A. W. & Kimber, J. (2013). Enhancing innovation in agriculture at the policy level: The potential contribution of Technology Assessment. *Land Use Policy*, 31, 406–411. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.08.004>
- Wieczorek, A. J. & Hekkert, M. P. (2012). Systemic instruments for systemic innovation problems : A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*, 39, 74–87. <https://doi.org/10.1093/scipol/scr008>





Capítulo 2.

Aplicaciones metodológicas en la vinculación universitaria con comunidades rurales: la experiencia del CIESTAAM

Jorge G. Ocampo Ledesma

Lic., MSc, DSc. Profesor investigador del CIESTAAM - Universidad Autónoma Chapingo

María Isabel Palacios Rangel

Lic., MSc, DSc. Profesora investigadora de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Miembro del núcleo académico del CIESTAAM

Jorge Aguilar-Ávila

Ing. Agron., Esp., MSc, DSc. Profesor investigador del CIESTAAM - Universidad Autónoma Chapingo

Adrián Lozano Toledano

Ing. Agron., Esp., MSc. Trabajador administrativo de la Universidad Autónoma Chapingo. Profesor de cátedra, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia

Resumen

El objetivo de este documento es explicar algunas de las herramientas metodológicas cuantitativas y cualitativas aplicadas en las experiencias de vinculación universitaria e

inserción comunitaria lideradas por profesores del Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM), de la Universidad Autónoma Chapingo en México. Con ello, se pretende contribuir al diseño de iniciativas de vinculación futura de los universitarios en comunidades, organizaciones y regiones desde un enfoque no experimental. Un aspecto esencial a la hora de emprender iniciativas de vinculación universitaria, sobre todo en comunidades rurales e indígenas, es la selección de herramientas, métodos y enfoques con los que se logre insertar a los participantes en ese universo comunitario y dotarles de una serie de elementos didácticos para que puedan avanzar en los procesos de investigación-acción derivados de este tipo de iniciativas. Esto lleva en ocasiones a un debate metodológico sobre si la elección de un solo enfoque, ya sea cuantitativo o cualitativo, permitirá generar un diagnóstico rápido para proponer con ello acciones de trabajo. Es importante comprender la complejidad de la realidad en la que se inserta el participante del proyecto de vinculación universitaria para lograr impactos de largo alcance con relativa rapidez. Por ello, las herramientas y enfoques de análisis cualitativos y cuantitativos combinados pueden generar metodologías híbridas que por definición tienen mayor potencial en los análisis que permitan generar y escalar estrategias de vinculación universitaria.

Palabras clave: *métodos cualitativos, métodos cuantitativos, redes tecnológicas, genealogías tecnológicas, trayectorias tecnológicas*

I. Introducción

Para entender el comportamiento de una sociedad o de un grupo concreto dentro de ella, es pertinente analizar en detalle varios aspectos intrínsecos al fenómeno social que se pretende estudiar. Se debe analizar

cómo se relacionan los integrantes de ese grupo entre sí y con actores del exterior a su entorno; también se debe identificar cuáles son sus propósitos, capacidades, tradiciones y conocimientos.

Para el estudioso universitario que busca comprender la condición de desarrollo de las sociedades rurales, comunidades, organizaciones, entre otros, discernir entre los rasgos más importantes y los menos relevantes a estudiar se vuelve especialmente importante. Es aquí donde los métodos del trabajo de campo encaminados a la vinculación universitaria prestan un gran apoyo, en tanto proporcionan un marco explicativo amplio sobre los actores sociales y su acción, así como de los espacios donde se desenvuelven los procesos cotidianos de los pobladores rurales. A partir de aquí, lo social se ve envuelto en su complejidad y en su correspondencia con aspectos que no pueden entenderse por separado: educación y política, ciencia y tecnología, proyecto social, economía e historia.

En este contexto, el desarrollo de actividades que promuevan el trabajo de campo para la vinculación universitaria implica un acercamiento interpretativo y reflexivo del entorno comunitario con el que se busca establecer lazos de colaboración. El propósito del vínculo a desarrollar entre los universitarios y la comunidad rural no solo tendrá que ver con la transferencia de los procesos técnicos u organizativos que inducen al desarrollo del vínculo, sino también lo será aprender, como universitarios, a interpretar las situaciones y fenómenos que rodean a la comunidad en los términos, alcances y significados que ella les otorga (Denzin & Lincoln, 2005).

El uso de una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos lleva a construir enfoques híbridos o mixtos. Ello permite al investigador, al estudiante, al extensionista y a los propios pobladores rurales desarro-

llar mejores diagnósticos de su realidad, sobre todo si partimos de una perspectiva epistémica que permita identificar las relaciones que se establecen entre los diferentes fenómenos y actores (Granados, 2016), los múltiples escenarios en los que estos se dan y los aspectos que subyacen a los cambios promovidos por el trabajo de vinculación en campo, la investigación-acción, el extensionismo rural, entre otros.

Una aproximación a la realidad rural nos indica que las acciones dirigidas a la investigación o a la intervención a través de la promoción de actividades de cambio deben caracterizarse por el uso de métodos, técnicas y enfoques híbridos (cualitativos y cuantitativos). La combinación de estos permite generar diagnósticos más pertinentes y, por tanto, el diseño de estrategias de intervención más asertivas. Lo anterior requiere de la recolección de evidencias empíricas, de manera que el desarrollo de las actividades y el trabajo de campo impliquen el procesamiento de datos (duros y blandos) y aprendizajes cuya combinación permita profundizar en la comprensión de la realidad en la que se participa (Atencio, Gouveia & Lozada, 2017). En este contexto, es pertinente señalar que el uso de herramientas cualitativas no limita el uso de herramientas cuantitativas (Cadena-Iñiguez et al., 2017), más bien ambos enfoques se potencian mutuamente.

De esta manera, el desarrollo de actividades y trabajos de vinculación universitaria se convierte en un campo fértil para aplicar diversas herramientas didácticas y de diagnóstico que permiten generar un conocimiento significativo de la realidad rural y en particular de los grupos sociales que la integran, destacando y recuperando las situaciones a las que se enfrentan. De esta forma, los docentes, investigadores y alumnos participantes en iniciativas de vinculación se convierten también en actores centrales (Denzin & Lincoln, 2005; Paniagua, 2012), lo cual se acerca a lo planteado por Rodríguez (2019) como “laboratorios vivos”.

En ese sentido, este documento aprovecha varias décadas de trabajo de campo y una serie de acciones importantes en las que se ha desplegado la iniciativa de varios investigadores y estudiantes de la UACH, y particularmente de profesores ahora adscritos al Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Varios de los profesores adscritos al CIESTAAM tienen una larga trayectoria en las regiones rurales, lo que ha implicado la participación universitaria en procesos de desarrollo rural que incluyen el acompañamiento de las luchas agrarias; el impulso de programas de extensión agrícola y de nuevas tecnologías y propuestas de innovación; el desarrollo de organizaciones agrarias y la formulación de políticas públicas orientadas a mejorar la situación de las comunidades rurales. Actividades que forman parte de la vinculación universitaria.

Al remontarnos a experiencias consolidadas de vinculación universitaria, resulta relevante mencionar la presencia en México del ingeniero italiano Mario Calvino a principios del siglo XX. Llegó al país por invitación de la Escuela Nacional de Agricultura y Veterinaria (hoy UACH) y por un buen grupo de agrónomos interesados en este proceso de extensión. El objetivo de la invitación era promover cursos, laboratorios, áreas experimentales, nuevos cultivos, folletos y capacitación para los productores (Palacios et al., 2012). Calvino realizó parte de su trabajo a bordo de una carreta tirada por caballos en lo que se llamó la “Cátedra ambulante”.

La larga trayectoria de vinculación entre la institución académica y la comunidad agraria se mantiene en la actualidad gracias a la diversidad de las modalidades, métodos y enfoques de participación desarrollados por profesores y estudiantes. Esto ha hecho posible el enriquecimiento de esta práctica tanto en sus aspectos empíricos como en aquellos relacionados con la aplicación de las ciencias agronómicas en la resolución de problemas técnicos, productivos y socioambientales. A partir de esta

plataforma colaborativa se ha contribuido en la construcción de parte del mapa rural de México.

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo es sistematizar el uso de algunas herramientas metodológicas aplicadas en las iniciativas de vinculación universitaria que docentes de la Universidad Autónoma Chapingo han liderado en comunidades rurales marginadas. Las herramientas seleccionadas se relacionan con el uso de métodos cuantitativos y cualitativos que pueden contribuir al diseño de iniciativas de vinculación futuras en comunidades, organizaciones y regiones desde un enfoque no experimental.

2. La hibridación metodológica: una estrategia para insertarse en la complejidad rural

Comprender la complejidad de la realidad en la que se inserta el participante del proyecto de vinculación universitaria es importante para lograr impactos de largo alcance y que esto pueda lograrse con relativa rapidez. Por ello, un aspecto esencial para emprender iniciativas de vinculación universitaria, sobre todo en comunidades rurales e indígenas, es la selección de herramientas, métodos y enfoques con los que: (1) se logre insertar a los participantes en ese universo comunitario y (2) se les dote de una serie de elementos didácticos para que puedan avanzar en los procesos de investigación-acción derivados de este tipo de iniciativas. Esto lleva a un debate metodológico sobre si la elección de un solo enfoque, ya sea cuantitativo o cualitativo, permitirá generar un diagnóstico rápido para proponer con ello acciones de trabajo adecuadas para la apertura y seguimiento de las actividades de alto impacto, así como obtener la información o datos necesarios para sustentar un curso de acción e investigación que logre considerar la mayor parte de los aspectos de interés.

2.1. Los métodos híbridos para profundizar en la realidad

La experiencia adquirida a través de la vinculación universitaria nos permite afirmar que la integración de herramientas cualitativas y cuantitativas es una práctica común entre quienes realizan trabajos universitarios con las comunidades. Así, resulta difícil encontrar métodos “puros” de cualquiera de los enfoques metodológicos y más bien es posible hallar una diversidad de enfoques híbridos o mixtos, como se les denomina actualmente.

Esta práctica permite combinar las fortalezas de cada enfoque y superar las debilidades que puedan darse en cualquiera de ellos, ya que cada vez que se combinan se pueden destacar sus aportes complementarios (la debilidad de uno resulta ser la fortaleza del otro y viceversa) (Teddie & Tashakkori, 2009). Según Denzin (1989), el enfoque híbrido, especialmente característico de los estudios en ciencias sociales, es un mecanismo de triangulación de herramientas metodológicas. Esto significa que un mismo objeto o sujeto de estudio puede ser abordado desde diferentes visiones o espacios temporales para comparar o contrastar datos, contextos o enfoques (Rodríguez, Pozo & Gutiérrez, 2006). Así, la combinación de métodos cualitativos y cuantitativos deriva en métodos híbridos, lo cual ha permitido, por un lado, mejorar los diagnósticos comunitarios y con ello los resultados obtenidos para enriquecer la comprensión de la realidad y por otro, desarrollar nuevas actividades que profundicen y amplíen los vínculos de trabajo entre los universitarios y los grupos sociales con los que se interactúa.

Al respecto, Johnson et al. (2007) plantean que al utilizar un enfoque híbrido o mixto el investigador puede combinar aspectos que tienen que ver con lo cuantitativo, como el uso de técnicas de acopio y pro-

cesamiento de datos de tipo descriptivo, que implican la medición del fenómeno observado para poder delimitar tendencias de comportamiento social, a la vez que utiliza métodos o técnicas cualitativas con la finalidad de comprender los sentidos y significados profundos del comportamiento social.

2.2. Secuencia metodológica en la vinculación universitaria con comunidades rurales

Para que la vinculación universitaria con comunidades rurales tenga mayor probabilidad de éxito es necesario hacerla sobre la base de un diagnóstico que utilice indicadores cualitativos y cuantitativos. Las fuentes de los datos que permiten desarrollar las actividades de vinculación e investigación universitaria que aquí se exponen parten de la investigación documental sobre la zona que se va a trabajar. También buscan un acercamiento con personas que conozcan el lugar, de tal forma que se pueda partir de cierta información inicial en la cual basar una primera propuesta de trabajo. La exploración rápida del territorio en el que se van a desarrollar actividades de vinculación universitaria es necesaria para contar con una imagen general de la situación que impera en el entorno de la población objetivo.

Una vez en la zona en la cual se desarrollarán actividades de vinculación se utilizan varios métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas. La herramienta de inicio es la observación directa por medio de los recorridos de campo o visitas a la comunidad. En ocasiones se pueden generar mapas participativos con la finalidad de ubicar la distribución de los asentamientos humanos y fincas, de tal forma que se logre tener una idea clara del territorio que se abordará en el trabajo de asesoría técnica o en la investigación. Estos recorridos constituyen un momento de enlace entre los pobladores rurales y los universitarios; además, conviene reali-

zarlos en compañía de algún lugareño que tenga un liderazgo reconocido y que, luego de explicarle el propósito de la vinculación universitaria, esté convencido de la pertinencia de la iniciativa. El trabajar con este tipo de productores líderes permitirá comunicar a la población objetivo quiénes somos y qué queremos hacer en ese lugar. Al final de la jornada es pertinente buscar una reunión con las autoridades municipales o comunales para estrechar lazos y acordar los términos de la iniciativa de vinculación universitaria.

Es usual comenzar las actividades posteriores a este primer encuentro con una reunión de maestros y estudiantes, la cual tiene el objetivo de precisar y acordar las actividades, lugares y acciones a desarrollar por cada uno de los integrantes del equipo universitario. Asimismo, se discuten los métodos, técnicas y herramientas a utilizar y se seleccionan aquellas que de manera participativa se valoran como las más idóneas para implementar las actividades propuestas. Siempre se debe explicar lo que los universitarios queremos hacer y quiénes somos, para así conformar un solo equipo con los pobladores rurales. Aquí se utiliza el método de la observación participativa.

Otras técnicas aplicadas luego de los recorridos exploratorios son las entrevistas abiertas a informantes clave, las cuales se realizan con objetivos definidos para obtener información con la “gente del conocimiento”: mujeres, productores, jóvenes, líderes políticos y sociales. Una ventaja afortunada para el equipo universitario es que en los proyectos suelen participar estudiantes de la universidad que son originarios del territorio, lo que permite un mayor acceso para obtener información. Los estudiantes que son hablantes de las lenguas originarias ofrecen una ventaja de comunicación, por lo que con ello también se logra profundizar en los aspectos simbólicos y en las costumbres de la gente de los lugares en los que se desarrollan procesos de vinculación.

También se pueden aplicar encuestas o implementar la técnica de los grupos focales, esto se realiza cuando lo que se quiere indagar tiene que ver con comportamientos que pueden ser interpretados a partir de métodos cuantitativos, como la estadística descriptiva. Para determinar la representatividad estadística de la población se utilizan métodos de muestreo probabilísticos, los cuales se pueden combinar con métodos de muestreo no probabilístico como el dirigido y el de bola de nieve, este último se utiliza cuando no se cuenta con padrones para diseñar muestreos estadísticos y permite identificar incluso a informantes clave. Sin embargo, se debe apuntar que no solo interesa obtener la información para completar los datos de nuestra investigación universitaria, el punto clave es conocer a las personas y que nos conozcan, de tal forma que podamos hablar un lenguaje común que posibilite realizar acciones conjuntas que impacten en los procesos de desarrollo rural. Para nosotros es importante que la gente desarrolle sus propuestas de interés de manera participativa con nuestro apoyo, pues si bien los procesos de desarrollo e innovación no se deben imponer ni deben “venir de afuera” —por el contrario, deben surgir y sostenerse desde y para las personas del lugar—, sí se pueden cimentar en conocimiento científico de vanguardia.

3. Recuperando la experiencia universitaria desarrollada en campo

3.1. Antecedentes

Un ejemplo que habla del compromiso de la comunidad agronómica con el desarrollo del agro mexicano es que entre 1920 y 1940, durante el periodo posrevolucionario conocido como revolución agraria, el trabajo de vinculación universitaria fue básicamente para promover la organización campesina. Los propios campesinos, con el apoyo de maestros ru-

rales y agrónomos, fueron los principales protagonistas. La actividad de la universidad se centró en la organización de los agraristas, el deslinde y reparto de tierras (antes en manos de grandes propietarios agrarios) y la recuperación de parcelas o tierras de propiedad social. A ello se sumaron, de manera limitada, actividades de transferencia de tecnología y capacitación en el uso de fertilizantes, nuevas semillas y maquinaria, así como la instalación de parcelas demostrativas como estrategia de capacitación y educación campesina.

Durante el periodo de la Revolución Verde, que en América Latina tuvo lugar entre 1940 y 1970, se promovió el extensionismo como política pública. Es así como, con éxitos y fracasos, se impulsó la modernización de la agricultura mediante la introducción de los llamados paquetes tecnológicos, los cuales estaban conformados por cinco componentes básicos: i) riego; ii) fertilizantes químicos; iii) pesticidas; iv) mecanización; y v) semillas mejoradas. A esto se añadieron al menos dos componentes: tierras planas con infraestructura y organización productiva de los agricultores.

Hacia finales de la década de 1960, el Departamento de Divulgación Agrícola de la Escuela Nacional de Agricultura (ahora UACH) se había destacado como una instancia que desarrollaba el trabajo de extensión y organización campesina para la producción agrícola. Sin embargo, y a pesar del valor de su aporte, el limitado alcance de su acción requería un nivel de conceptualización más amplio que implicara un mayor compromiso universitario en la construcción de un modelo de desarrollo rural más robusto y sostenible. En 1980 este departamento se transformó en el Departamento de Trabajo de Campo Universitario (DETCU), con lo cual se cerró el círculo del modelo de servicio universitario que se había impulsado en la UACH.

A principios de la década de 1980, la UACH desarrolló un amplio programa de vinculación y servicio con productores de diferentes regiones agrícolas del país. Como parte de este se formuló un planteamiento de regionalización agrícola nacional y con base en él se creó el Sistema de Centros Regionales, una estructura de investigación, servicio y vinculación rural con la que la universidad se propone vincular la docencia con la investigación orientada al estudio de la problemática rural, y a partir de ello destacar a los agrónomos que egresan de la institución con un mayor conocimiento y compromiso con el sector rural.

En este contexto, las actividades de varios profesores —adscritos actualmente al CIESTAAM y conformados como equipo de trabajo orientado a desarrollar actividades de difusión, divulgación, organización y extensión rural— han generado una larga trayectoria de trabajos de campo. Algunos de ellos se realizaron en unidad con los Centros Regionales Universitarios y otros se relacionaron con las propuestas de trabajo de servicio realizadas con los profesores del DETCU; sin embargo, la amplitud del trabajo ha correspondido principalmente a solicitudes generadas desde las comunidades campesinas o los gobiernos locales. Otros trabajos de vinculación universitaria han atendido a algunas solicitudes generadas desde el gobierno federal y algunos gobiernos estatales. Esta condición ha permitido abarcar una amplia gama de proyectos de vinculación universitaria cuyo sentido general ha estado siempre encauzado a la atención de la problemática social, productiva y ambiental de las comunidades campesinas y los pequeños productores agropecuarios.

Por lo tanto, hay que señalar que el trabajo realizado durante todas estas décadas tiene varios puntos a destacar. En primer lugar, se tiene un proceso de aproximadamente 30 años con inserciones en comunidades, regiones y organizaciones en diferentes momentos. Se asumieron intervenciones en la Sierra de Zongolica en Veracruz, en la Región de los

Volcanes ubicada en el altiplano central de México y en las inmediaciones de la Ciudad de México con agricultura periurbana. También se ha participado en actividades realizadas con comunidades rurales ubicadas en el sur del país en el istmo de Tehuantepec, tanto en la parte que corresponde al estado de Oaxaca como en los estados de Veracruz y Puebla, varios de ellos con población indígena. De estas iniciativas destaca el proyecto de desarrollo en la Sierra Mazateca (Oaxaca) y la Región del Totonacapan (Veracruz), que ha permitido sistematizar y capitalizar las experiencias de vinculación universitaria.

3.2. La traducción tecnológica

Hacia 2010 se inició la vinculación de la UACH con municipios y organizaciones de la Sierra Mazateca. Las primeras aproximaciones derivaron hacia una serie de cursos de capacitación dedicados fundamentalmente a la elaboración de abonos orgánicos y a la producción de hongos comestibles, las cuales eran las demandas de los pobladores rurales. Los cursos duraban un semestre y se ofrecían con la participación de estudiantes previamente seleccionados.

En una ocasión, junto a un equipo de estudiantes de las carreras de agroecología y de agroindustrias, se impartió el curso de producción de hongos comestibles a los agricultores. El sustrato en el que se cultiva el micelio, la “semilla” del hongo, es generalmente paja de trigo u otros desechos con contenidos de celulosa, que deben tener un valor de potencial de hidrógeno (pH) de 6 o 7, es decir, neutro o cercano a lo neutro, pues ahí es donde mejor crece el hongo. El dilema que se tuvo era cómo explicar el concepto del pH a productores campesinos mazatecos que en su mayoría eran hablantes de lengua indígena, pues no existe la palabra pH en mazateco. Así, en la comunicación con productores (traducción tecnológica), y más con hablantes de lengua indígena, se debe

realizar una doble traducción: del lenguaje especializado, académico o tecnológico al lenguaje cotidiano en español y del español al idioma de la región, en este caso el mazateco.

Para realizar este trabajo se requirió de traductores del mazateco al español y viceversa, pues la gran mayoría de productores campesinos asistentes se comunicaban mejor en el idioma mazateco. Para ello, el acompañamiento de traductores de la región —personas bilingües, de preferencia jóvenes estudiantes de la región— en las primeras comunicaciones y cursos fue crucial.

Ante la problemática de buscar la manera de explicar el concepto “pH” a los habitantes rurales, se discutió con los estudiantes, por alrededor de tres horas, cómo enfrentar ese dilema de comunicación. Finalmente y después de elaborar varias propuestas, los estudiantes decidieron que lo explicarían a la hora de la comida —casi siempre que se imparte un curso los productores nos invitan a comer— y se prepararon con un litro de leche, un par de “Alka-Seltzer”, un bote de sal de uvas (un antiácido estomacal de uso comercial) y otro de bicarbonato de sodio.

Durante la comida los estudiantes explicaron a los asistentes al curso cómo se producen las agruras estomacales después de comer alimentos condimentados (por la acidez) y completaron con las formas de evitar ese malestar, o reducirlo, mediante calcio o carbonato, los cuales regulan el pH en el estómago. Por ello, en el sustrato de paja también se usa carbonato de calcio para regular el pH. Todos los agricultores entendieron la explicación, pues en posteriores eventos utilizaron ellos mismos el ejemplo. Si nos damos cuenta, se utilizó el lenguaje especializado y el lenguaje cotidiano para planificar la capacitación; al combinar estos dos registros se genera una hibridación que permite lograr el aprendizaje significativo en los habitantes rurales.

3.3. Los procesos de escalamiento en las iniciativas de vinculación universitaria

Dados los objetivos de promover el bienestar de la población y el desarrollo regional, un aprendizaje importante en el proceso de inserción comunitaria fue transformar los cursos de capacitación para que no solo enseñaran a producir diferentes productos (hongos, abonos, conservas, huertos, lácteos, cárnicos, entre otros), sino que capacitaran a las personas para generar empresas que producen esos bienes. Esto se conoce en el lenguaje empresarial como “escalamiento” o “*Scaling Up*”.

Parece una diferencia mínima, pero en esta segunda dimensión los trabajos de vinculación deben realizarse con otras miras, otros tiempos y otras participaciones. Además de incluir los temas del área técnico-productiva, es necesario abordar la promoción de la organización y gestión de proyectos, administración y manejo de empresas sociales y aspectos histórico-culturales, así como mecanismos de inserción a las cadenas de valor en circuitos cortos de comercialización. Se trata de que los pobladores aprendan a establecer empresas sociales, que elaboren productos con marca y empaques propios, con generación de empleos en la producción y en la distribución, que promuevan y afiancen el mercado local y regional y consoliden organizaciones para el largo plazo. Ello requiere la combinación de herramientas cualitativas y cuantitativas, de variables e indicadores cualitativos y cuantitativos combinados, lo cual genera la hibridación metodológica.

3.4. Delegando responsabilidades en la vinculación universitaria

Cuando los profesores se integran al trabajo de vinculación cumplen al principio un rol de catalizadores, pues son los interlocutores con autori-

dad reconocida por los participantes (los pobladores rurales) debido a la edad, a la experiencia y al hecho mismo de ser profesores. Los estudiantes poco a poco se posicionan como los responsables de las actividades, mientras que los profesores disminuyen su participación e incluso su presencia. Este es un acuerdo entre profesores y estudiantes que se explica a los pobladores rurales en las reuniones previas a los cursos y que advierte que en poco tiempo serán los alumnos quienes asuman la tarea junto con los productores destacados que conocen el procedimiento y las bases de los trabajos. Al final, serán los agricultores quienes destaquen como instructores, mientras profesores y estudiantes continuarán las actividades en otras comunidades o grupos de trabajo.

En cierta ocasión se avisó a los habitantes de una comunidad rural sobre la reducción de la presencia de los profesores y el mayor protagonismo de los estudiantes, la reacción de la comunidad fue preguntar angustiadamente “¿y entonces ya no habrá profesores?”. Nuestra respuesta fue: “sí habrá profesores, pero esos serán los estudiantes universitarios y, finalmente, los participantes de la comunidad”. Se hizo un silencio que reflejaba un punto de tensión, hasta que un participante dijo: “sí, ellos serán los maestros, pero *maestros piratas*”¹. La tensión se rompió y todos rieron ante semejante ocurrencia.

Allí se normalizó la expresión de “maestros piratas”. Cuando llegamos a una comunidad para continuar los trabajos de vinculación se pregunta: ¿quién es el *maestro pirata* de la comunidad? Y ellos nos cuestionan ¿quién es el *maestro pirata* de los estudiantes? Y entre esos maestros se ponen de acuerdo, mientras que los profesores reducen su presencia.

1. El término “pirata” en México se refiere a versiones de tecnologías o de objetos que no respetan los términos legales de derechos de autor. Son baratas y, aunque no tienen la misma calidad, se pueden encontrar versiones muy apropiadas y funcionales a un bajo costo.

El sentido es que nuestros alumnos se prueben sin la interferencia del profesor y demuestren la capacidad profesional que han logrado. Y lo hacen bien, en especial en compañía de sus colegas, los *maestros piratas* de las comunidades. Entre *maestros pirata* se da el intercambio de experiencias y el diálogo de saberes.

3.5. El mecanismo espejo al trabajar en territorios distintos y distantes

Al trabajar en dos territorios indígenas distintos y distantes se ha validado la utilización de un método que se ha llamado el “mecanismo espejo”, con el cual se pueden comparar comportamientos y situaciones en dos sitios. Su uso ha dado resultados interesantes al comparar situaciones y métodos a utilizar en una región indígena que luego son replicados, adaptados y mejorados en otra región también con población indígena. Lo que no funciona o tiene problemas para ser implementado en una región se corrige y se adapta para superar las deficiencias en la otra región y luego se regresa al original. Esto se acerca a lo que Rodríguez (2019) ha denominado “aprendizaje basado en emprendimientos”.

Es importante destacar que se debe realizar la evaluación constante de los trabajos de vinculación mediante la sistematización de tareas. Cada vez que los integrantes de los equipos de vinculación universitaria regresan a la universidad, antes y durante el viaje de retorno, organizan y clasifican las tareas, asignan responsables de diferente tipo, establecen metas con resultados y calendarios y sistematizan la experiencia.

3.6. El diálogo como pilar de la vinculación universitaria

Desde nuestra experiencia, gran parte del éxito de los procesos de vinculación universitaria parte del diálogo que se realiza entre pobladores

rurales y universitarios. Más que solo una transferencia de tecnologías o una implementación de políticas públicas, destacan ciertos elementos que consideramos importantes:

1. Lo que se establece es un mecanismo de comunicación en un proceso de ida y vuelta en el que se conoce antes que nada a las personas. Es en este punto en el que el principio de reciprocidad se evidencia. No es posible solo pedir información sin proporcionar la nuestra. Pedimos el nombre del encuestado y nos presentamos con el nuestro. La combinación de indicadores cualitativos combinados con los cuantitativos permite generar una hibridación metodológica que lleva a lograr una mejor interpretación de la realidad rural y con ello el diseño de estrategias de intervención respetuosas con la gente y la naturaleza.
2. La incorporación a los trabajos de campo, especialmente con comunidades y grupos rurales, requiere superar mecanismos convencionales en los que el investigador es el que sabe y el poblador requiere ser capacitado, pues “no sabe” (es el enfoque lineal). Si partimos de una comunicación de ida y vuelta, tenemos el intercambio de uno que sabe con otro que sabe. Con ello se disuelven, o por lo menos se ponen en entredicho, las soberbias de las versiones difusionistas o de divulgación, que consideran superior al portador de títulos en comparación con quien conoce de manera práctica y directa. En este sentido, el investigador se ve en la necesidad constante de considerar perspectivas diferentes y auxiliarse de indicadores cualitativos que permiten interpretar mejor lo cuantitativo.
3. Es necesario generar confianza: no prometer resolver los problemas sino trabajarlos conjuntamente, no acordar tareas y no cumplirlas, asistir a las reuniones convenidas, participar en lo comprometido,

escuchar antes que hablar, mantener una conducta libre de pretensiones, evitar actitudes soberbias —estar dispuesto a aprender, a hablar en términos cotidianos, a no utilizar el lenguaje científico-académico, a ser genuinos— y tener disposición para entablar un diálogo de saberes.

4. Se debe ser paciente al observar, pues generalmente a las comunidades e informantes les lleva tiempo comprender las pretensiones de los académicos en los procesos de vinculación, bien porque no se explica con claridad qué se busca, bien por las diferencias de estilos y de lenguajes o porque no quieren decir de entrada lo que saben. Entonces se debe esperar, mantener los sentidos abiertos, seguir estudiando cuanto se pueda, continuar la comunicación hasta que se produzca la información clave, los datos precisos y las conexiones necesarias generadoras de confianza. Este tipo de análisis solo se logra con la combinación de los métodos y herramientas cualitativas y cuantitativas.
5. Es importante recordar que la manera de obtener el punto de vista de los distintos tipos de pobladores rurales depende de características como si se es mujer o varón, joven o viejo, estudiante o profesor, una autoridad formal o real, de si se ocupa un cargo de funcionario, de representante de una dependencia oficial, de una empresa promotora de insumos o de apoyo.

Adicionalmente, para generar confianza es necesario respetar las costumbres y las normas comunitarias, por ejemplo, saludar a las personas, mantener las consideraciones para los ancianos y las diferentes autoridades, respetar a las mujeres, atender a los niños, respetar espacios sagrados. También es fundamental establecer relaciones cordiales e incluso afectivas, para lo cual es necesario comunicarse con estudiantes

y profesores de la región, relacionarse con organizaciones de productores rurales, presentarse de inicio ante las autoridades formales y las representaciones de los diferentes niveles de gobierno e identificar a los líderes reales de la comunidad y de las organizaciones y atender a sus indicaciones.

Otro aspecto a considerar para generar confianza es mantener siempre una conducta universitaria respetuosa, lo que implica un comportamiento ejemplar. También se debe explicar claramente para qué se está ahí, cuáles son los objetivos, reiterando que sobre todo se llega para aprender, para presentar temas concretos, solicitudes y preguntas de investigación precisas. También es clave desmarcarse de los conflictos internos de carácter político o religioso que, de entrada, no es fácil entender.

También es importante volver a las comunidades para mostrar lo que concluimos en los procesos de vinculación a través de escritos y otras formas de comunicación. Es decir, regresar a mostrar lo que se aprendió y tratar de mantener la relación a través de diferentes mecanismos. Construir confianza implica apoyar las iniciativas de grupos, colectivos y organizaciones a través de la intervención universitaria. Esto puede ser desde diferentes roles: gestores de proyectos, mediando la extensión de propuestas tecnológicas, como difusores de experiencias o como formadores en los temas acordados con los pobladores rurales y actores clave.

3.7. La inserción comunitaria

Los procesos de vinculación universitaria deben traspasar las dimensiones clientelares que van desde los organismos gubernamentales a las organizaciones partidarias de base, que funcionan más que nada para obtener el apoyo de los gobernantes. De ahí se puede pasar a las organizaciones de productores en las comunidades. Cuando se llega a estas se puede

decir que se ha “tocado tierra” y ahí es donde entra la comunicación y el aprendizaje universitario toma forma. Esta rápida mirada inicial aporta una primera radiografía de cómo se mueven las instancias de poder, representación y organización en la comunidad y la región. Los problemas comunitarios y regionales y las posibilidades de acción se hacen cada vez más evidentes. Se comienza a conocer el interior de nuestros sujetos de estudio, los aliados de la iniciativa de vinculación universitaria.

El objetivo de la inserción comunitaria en los procesos de vinculación universitaria es mejorar las condiciones de vida y trabajo de la población. Esto, por medio de la creación de bienestar social y de propuestas que orienten la definición de políticas públicas; para ello resulta necesario valorar varias aristas: productiva, educación, vivienda, salud, entre otras. De ahí el análisis sigue con identificar las condiciones que consolidan estas orientaciones, como la cultura, sus representaciones, historia y manejos.

Cuando un equipo de vinculación universitaria llega a las comunidades lo debe hacer con “premeditación, alevosía y ventaja”; es decir, con información previa y un propósito misional de poner la ciencia al servicio de los pobladores rurales. Antes de llegar a las zonas donde se efectuará la vinculación universitaria se debe estudiar la región de inserción, comprender su formación natural, sus riquezas, su historia, la población, la cultura, sus recursos, su importancia económica, sus procesos y conflictos, sus tipos de gobierno, sus problemas, los sectores sociales y sus organizaciones.

De esta forma se tiene una primera aproximación al para qué, con qué y con quiénes se podría trabajar. Aun cuando se tiene información previa, se debe mantener la flexibilidad para reconocer y aceptar modificaciones y sorpresas. Al llegar a la comunidad ya se tiene una noción de qué puertas se deben tocar, se tiene una idea de cómo recibirán al equipo universitario, se sabe qué plantear y hasta dónde se pueden comprometerse.

ter acciones. Pero eso no significa que se tenga todo resuelto. Lo interesante es estar abiertos para apreciar cómo se confirman o modifican las primeras ideas y consideraciones, cómo se aprenderá y cómo se deben insertar cada vez más en un espacio con nuevos acompañantes, con nuevas tareas y aspiraciones. No es improvisación, pero algo hay de ello. Es trabajar con sentidos e intuición para lograr un proceso de vinculación que genere prosperidad para todos los involucrados.

Una consideración importante es no perder la capacidad de asombro, que se relaciona estrechamente con la actitud de estar dispuestos siempre a aprender, a conocer. De manera sencilla la tarea de investigación es “ver, pensar y actuar”, que resume la propuesta gnoseológica de “Praxis y Teoría”, esto es, explicar con fundamentos teóricos lo que ocurre en la realidad de las comunidades rurales.

No perder la capacidad de asombro significa también mantener la atención a las maravillas que se despliegan y que, en ocasiones, no se distinguen y aprecian por tener un carácter cotidiano. Pero estas maravillas son parte del realismo mágico, donde las coincidencias, los significados, los sentidos temporales y espaciales cobran otros relieves y se redimensionan. La cultura —bailes, festejos, comidas, música— se expresa con otras riquezas, las tradiciones se comprenden como orientaciones y guías para la vida, el trabajo y las relaciones con la naturaleza y las diferentes expresiones sociales.

4. Tres enfoques metodológicos híbridos

Para el análisis de la información generada en las experiencias de vinculación universitaria se ha desarrollado un protocolo de sistematización que integra tres aspectos básicos para entender la complejidad social y rural en la que estamos inmersos. Esta triada comprende tres enfoques

metodológicos de conocimiento: el uso del análisis de redes sociales, el estudio de las genealogías y la construcción de las trayectorias tecnológicas. Así mismo, utilizamos la metodología de la historia oral para la reconstrucción de los procesos históricos y sociales de las comunidades, con ella podemos identificar hitos a partir de los actores involucrados en ellos.

Estos enfoques incluyen el uso de herramientas tanto cualitativas como cuantitativas, lo cual permite aseverar que son enfoques híbridos. Para dilucidar el uso y combinación adecuada de las metodologías se parte de otros resultados de investigación que establecen cinco elementos de método. De ahí se generan explicaciones fundamentadas que dan contexto conceptual a los trabajos en campo en los procesos de vinculación universitaria, así como en otros estudios.

El primer elemento de método es integrar una visión de “larga duración”, lo cual permite entrever otros horizontes que no es posible apreciar con análisis coyunturales. Estos horizontes, enmarcados en acciones colectivas explicadas por ejes apropiados a esta dimensión, permiten destacar trayectorias, perspectivas y sentidos que de otra manera se borran o no se perciben. Se requieren escenarios adecuados a dicha escala. Si bien las localidades comunitarias son escenarios reducidos, la comprensión regional —en especial cuando se extrapola mediante la comparación de sus elementos constantes a dimensiones continentales y mundiales— expresa mejores adecuaciones espaciales que, sumadas a temporalidades de mediano y largo plazo, nos permiten apreciar las trayectorias y perspectivas.

El segundo elemento es generar las explicaciones de la realidad de las comunidades rurales como un proceso. Se debe analizar la realidad actual como producto de un devenir constante en el que se deben preci-

sar las rupturas y las continuidades a fin de entender la unicidad de un movimiento constante, no como sucesión de etapas establecidas como estancos, sino donde se expresan las características del continuo con estructuras y coyunturas. De esta manera es posible apreciar elementos que permanecen más allá de los cambios económicos, políticos y militares que a menudo velan otras dimensiones (por ejemplo, expresiones culturales o formas de organización, como la familia y los barrios).

El tercer elemento de método a considerar es el de la complejidad. Estas consideraciones nos colocan en una comprensión con múltiples determinaciones en la que los contextos económicos, los manejos políticos, las formas educativas y culturales o la dimensión territorial, por mencionar algunas áreas de explicación, son importantes al ser comprendidas en su unicidad y en sus interrelaciones.

La dinámica de los procesos constituye el cuarto elemento de método a considerar. Debemos asumir que en las comunidades todo fluye y cambia. Los procesos comunitarios mantienen una dinámica de acomodación de los factores de la producción y de las relaciones que se dan entre actores, y con ello del flujo de mercancías. De ahí que entrar en la explicación desde la versión dinámica del proceso sitúa al equipo de vinculación universitaria en una multitud de caminos explicativos, vinculados momentánea o estructuralmente, pero con tendencias diversas, con tiempos y lugares disímiles pero entrelazados, siempre en movimiento y cambio.

La metodología de vinculación universitaria aquí descrita recupera una situación que las formas dominantes de la explicación histórica y social suelen pasar por alto: el conflicto. Este constituye el quinto elemento metodológico a considerar. En las versiones funcionalistas y positivistas el conflicto se deja de lado, se elude o se considera inexistente. Y si

no hay más remedio que incorporarlo, siempre aparece en su forma más simplona: como choque entre personalidades aisladas que se enfrentan por motivos individuales y egoístas, la mayoría de las veces solo con expresiones políticas o militares. El conflicto es parte del mismo proceso y sin lugar a dudas una de las fuentes originarias del movimiento social. En el conflicto se expresan las fuerzas sociales e históricas, las tendencias estructurales y las circunstancias coyunturales. El conflicto permite entender relaciones sociales en tensión, que es donde mejor se expresan las tendencias y las propuestas y donde se presentan las fuerzas organizadas para la acción (Ocampo & Reyes, 2017). De ahí que nos interese incorporar el conflicto en las explicaciones sociales desde las comunidades.

4.1. El análisis desde las redes

Hay diversas concepciones y definiciones de redes. Lo importante es considerar esa trama de relaciones en diferentes versiones, lo cual nos permite comprender estructuras, manejos y expresiones variadas entre los actores presentes en las comunidades. Por ejemplo, existen redes tecnológicas, redes de acceso al conocimiento, redes comerciales (de compra y de venta), redes de amistad, entre otras.

Debido a su dimensión poblacional y su expresión regional, las comunidades permiten apreciar aristas que se nos pierden en dimensiones más amplias, donde se expresan otras formas más nítidamente (Ginzburg, 1999). En las comunidades y regiones la cercanía de las relaciones, expresadas en redes, permite apreciar riquezas cotidianas que se mantienen durante generaciones en una trascendencia que destaca su vitalidad. Una manera de entender estos procesos y relaciones es mediante el concepto de redes, utilizado de manera indistinta y en ocasiones sin mayor rigor. Nuestra actividad se fundamenta en las propuestas de Bruno Latour (1992, 2007, 2008), en particular en la Teoría del Actor-Red;

de Antonio Arellano Hernández (2003, 2011, 2017) a partir de su aporte relacionado con las Redes Sociotécnicas y, finalmente, de Rosalba Casas et al. (2001) en su planteamiento sobre la forma en que actúan e interactúan las Redes de Conocimiento. Otra propuesta metodológica para el análisis de redes es la del CIESTAAM, la cual promueve formas de extensionismo, de organizaciones de productores, de definición de políticas públicas y de formulaciones teóricas. Entre quienes trabajan en esta elaboración cabe resaltar los aportes de Aguilar-Gallegos et al. (2017) A continuación se reproduce su aporte al análisis de las redes sociales:

El Análisis de Redes Sociales (ARS) es muy popular y está siendo usado en diferentes áreas de estudio. El interés de entender ciertos fenómenos con una perspectiva de red se ha extendido a todas las áreas de las ciencias sociales y está creciendo (incluso más rápido) en la física, la epidemiología y la biología. Es así como el ARS ha ampliado su rango de aplicación debido a que son una forma de pensar sobre un sistema social, lo cual da la oportunidad de abordar estudios de este tipo desde otra perspectiva. En este sentido, el ARS permite enfocarse sobre las relaciones existentes entre diferentes entidades que constituyen un sistema, por ejemplo, un sistema social; estas entidades son comúnmente llamadas actores o nodos.

De esta forma, con la perspectiva del ARS, un ambiente social puede ser expresado con el uso de patrones y regularidades de relaciones establecidas entre los actores que lo conforman; estos patrones dan forma a lo que se conoce como estructuras, mismas que derivan después a indicadores estructurales de la red social.

Bajo este contexto, **una red de innovación es un grupo de actores** que voluntariamente contribuyen con conocimiento y otros recursos (dinero, equipo, tierra) para mejorar o **desarrollar** procesos o productos sociales o económicos en su conjunto. A estas redes también se les llama **plataformas de innovación**.

La difusión de innovaciones ocurre a través de actores en un sistema social. El patrón de comunicación a través de estos individuos configura una **RED DE INNOVACIÓN**. Esos patrones de comunicación se pueden mapear antes de iniciar

un proceso de innovación (línea de base) y al culminar el proceso de intervención (línea final); con ello, se puede tener una idea del impacto en cuanto al enriquecimiento de las relaciones entre actores para acceder a información de calidad que les permita innovar. (Aguilar-Gallegos et al., 2017, pp. 11-12)

Las redes, en su concepción más amplia, incluyen elementos económicos, políticos, culturales y territoriales (Ocampo, 2007). En algunos casos las redes se expresan a través de una extensa riqueza de análisis de los relacionamientos entre actores. El análisis está fundamentado epistemológicamente en donde se debaten los fundamentos del conocimiento moderno e incorpora elementos sustanciosos del debate, como: considerar a los objetos (tractores, la parcela, maquinaria moderna o tradicional) como actores (*actantes*, como se les llama para distinguirlos de los actores humanos) que bien pueden ser punto de partida en nuestros trabajos; apreciar con una mirada diferente la relación entre naturaleza y sociedad o entre lo objetivo y lo subjetivo y dar importancia a las simetrías y a traducciones, etc. (Latour, 2007; Latour, 2008).

Finalmente, los centros de las tramas, expresadas como redes, son nudos o urdimbres de relaciones sociales en las que se pueden utilizar los elementos de método que hemos considerado antes. Esta orientación debe incluir las explicaciones multi, trans o interdisciplinarias.

Antonio Arellano (2003) detalla con precisión la Teoría del Actor-Red (TAR, también conocida como ANT por sus siglas en inglés), formulada por Bruno Latour, Michel Callon y John Law. La indicación de los autores es *rastrear las asociaciones* para entender lo social —y en nuestro caso lo comunitario— como un movimiento de re-asociación y reensamblado (Latour, 2008) donde la apreciación dinámica de los grupos, colectivos y sectores permite distinguir las formas de construcción de sus relaciones (en las que se incluyen conflictos e intereses que se invisibilizan cuando

ya se hayan establecido). Siguiendo la analogía de Latour, si podemos apreciar la ciencia en acción, también podemos analizar la comunidad y la región en acción.

De ahí que es necesario seguir a los actores, sean individuos, organizaciones, instituciones, gobiernos u objetos, donde destacan sus elementos constitutivos y que los distinguen. Apreciar a la comunidad y a la región en acción permite descubrir los conflictos, los titubeos, las indecisiones, las resoluciones —con todo y sus improvisaciones— y las carencias en el sustento, que se asumen sin mayor cuestionamiento público cuando en lo privado se pone en entredicho hasta su propia existencia. Además, en su elaboración se vislumbran los procesos vivos frente a situaciones que ocultan los deslices y solo muestran la cara firme y seria de los resultados (Latour, 1992). Y es que entonces se descubre una trama de relaciones ocultas que nos llevan a comprender las redes constituidas desde los actores.

De esta manera se destaca la importancia de rastrear una red, entendida como una serie de acciones en la que cada participante es tratado como un mediador. Por ello, incorporar la TAR es reconocer a los actores que hacen algo, que participan y no son meros espectadores u objetos inmóviles. Desde esta visión cada actor es una traducción y pasa de intermediario a mediador porque hace visible la dinámica.

Por su parte, Arellano (2014) argumenta sobre los alcances, las limitaciones y el proceso seguido por la TAR en una comprensión donde las cuestiones más inusitadas pueden ser consideradas como un actor-red: la ciudad, el campo, la empresa, el tractor, el maíz híbrido, las organizaciones ciudadanas o productivas, el ambiente, el clima, etc. Aquí es donde entra la ayuda de la etnografía (Arellano et al., 2017).

Casas et al. (2001) argumentan que se trata de comprender la relación entre productores y usuarios del conocimiento para “analizar cómo se construyen los desarrollos tecnológicos”. Con sus aportes es posible establecer los términos de un sistema nacional de innovación que retoma las propuestas de la Escuela de Sussex. Se pueden orientar estos términos hacia el sistema regional o local de innovación, donde se destacarán actores específicos, una nueva cultura (organizaciones, hábitos, rutinas) y formas diferentes de administración y de formulación de instancias y políticas públicas. Esta intersección produce un ambiente de innovación en el que se incluye la información y el conocimiento, junto con los financiamientos, las organizaciones y su comportamiento, las políticas públicas y las leyes, la educación, etc.

Rosalba Casas et al. (2001) entretienen aportes para descubrir el flujo de conocimientos tecnológicos. De ahí surge su propuesta de redes de conocimiento, las cuales implican:

la formación de redes profesionales y de entrenamiento, [...] de redes de difusión y transmisión de conocimiento e innovaciones, que estarían dando lugar a la formación de espacios regionales de conocimiento. Se trata de un estadio previo a la conformación de redes de innovación. (Casas et al., 2001, pp. 22-23)

Su objetivo final es formular políticas públicas de ciencia y tecnología regionales, lo cual incluye la capacitación y la educación.

De esta forma, cabe decir que los equipos de vinculación universitaria se mueven en una realidad de relaciones, de circunstancias, contextos, escenarios o como quiera que los denominemos. Y cuando quiere apreciarse esta realidad en su totalidad, en una visión integral, puede comprenderse como tramas o como redes; es decir, puede superarse la orientación de sistemas completos pero separados entre sí.

Hay todo tipo de tramas: cerradas, cortas, estrechas, amplias, abiertas, largas, capaces de comprender diferentes aspectos de esta realidad. Para las iniciativas de vinculación universitaria se aprecian generalmente las redes económicas y productivas, con lo cual se superan las versiones de sistemas, cadenas o enlaces. Con estas redes se elaboran gráficos didácticos y representativos de los objetos de estudio, en los que se debe destacar no solo enlaces en dos planos, también hay que profundizar e incorporar las dimensiones espacial y temporal. Así, es posible apreciar dinámicas y al tiempo ubicar centros de innovación dentro de los esquemas diseñados.

4.2. Las genealogías

Las genealogías remiten al análisis de las estructuras familiares, así como de las herencias tangibles e intangibles de diferente tipo, las cuales destacan por su importancia en los estudios comunitarios y regionales. Las comunidades mantienen una especial atención a sus genealogías, incluso se dinamizan cuando se atiende a ellas. Si bien con la genealogía se trata de comprender la ascendencia y descendencia de una persona, una familia o un grupo, también se pueden extender sus aportes a organizaciones y tendencias sociales.

Se puede entender la genealogía de manera rápida como el estudio y seguimiento de la ascendencia y descendencia de una persona o una familia. En este sentido, es un hilo conductor para comprender el proceso de construcción comunitario de mediano y de largo plazo, a través del cual se aprecian las confrontaciones y los conflictos, las herencias, la realización de actividades prácticas, la consolidación de instituciones, la transmisión del conocimiento técnico, entre otros.

Para lograr este trabajo genealógico es necesario incorporar otros mecanismos, como la prosopografía (estudio de los linajes), sobre todo con

respecto a los dirigentes y representantes, así como a los directivos no formales de las comunidades y regiones. Con esta prosapia respecto a la consolidación de las estructuras comunitarias se pueden identificar los aportes fundamentales y sus progenitores, las continuidades y rupturas en su proceso de desarrollo con sus aciertos y tropiezos, los conflictos ocasionados en este proceso, los impulsos a su dinámica y los mecanismos de propulsión y las formas en que se ha construido.

Por su parte, la etnología posee sus propios métodos de trabajo, los cuales se desarrollan preferentemente en campo. La etnología parte de la selección de los objetos de estudio establecidos alrededor de los grupos sociales, de los cuales trata de apreciar sus características. Enseguida establece diferentes acciones en campo: la observación preparada de manera minuciosa para apreciar rasgos y comportamientos que han sido establecidos en cuestionarios; la aplicación de encuestas para recibir informaciones precisas de primera mano; el manejo de entrevistas, una vez destacados los informantes, sea como estudios de caso o como los llamados clave; la integración a la comunidad, siempre que sea posible, y diferentes formas de investigación (investigación participativa, investigación acción, investigación desde dentro, entre otros).

A partir de esta selección de actores se deben especificar sus segmentos, que pueden ser destacados desde el propio proceso comunitario y regional. Así aparecerán los actores, que incluyen a los pobladores con sus colectivos, grupos y sectores, las instituciones, organismos gubernamentales, leyes y lineamientos de políticas públicas que impactan en la región. De esta manera, con las genealogías —que incluyen la prosopografía y los linajes comunitarios y regionales— se tiene un instrumento apropiado para analizar las relaciones que mantienen y disuelven las estructuras sociales.

En el sector rural, y especialmente en las comunidades campesinas en las que se implementarán procesos de vinculación universitaria, una de las estructuras y redes sociales que se enriquecen al analizar con el enfoque de las genealogías más importantes son las familias, ya que en ellas se encuentra uno de los centros de poder e identidad más importantes en la vida cotidiana de estas comunidades. Al observarlas, lo primero que llama la atención es que no se corresponden con un solo tipo, mucho menos a lo que teóricamente se ha identificado como familia nuclear. En principio hay que decir que existen diferentes formas de familia, además de las consanguíneas. Las familias se pueden entender desde un punto de vista político, organizativo, étnico, religioso, de género, etc. Esta consideración debe consolidarse ya que sus postulados pueden ser más difíciles de precisar. Lo que sí se puede apreciar son los elementos identitarios de los grupos que se consideran familiares. De esta identidad surgen lazos de confianza, lealtad, cercanía, valores y principios que en ocasiones se convierten en diversas integraciones familiares, especialmente a través de matrimonios y compadrazgos que fortalecen los vínculos.

Apreciar estos elementos permite distinguir resortes que se estructuran en las comunidades y regiones de trabajo. Dentro de ellos se expresan procesos largos, que incluyen integraciones comunitarias, prestigios y reconocimientos regionales, complicidades y adeudos de diverso tipo. Estos elementos resultan vitales en los trabajos de inserción comunitaria y regional, pues permiten incorporarse considerando situaciones de tensión e incluso de conflicto en sus diferentes niveles.

Por otra parte, las familias consanguíneas y de otros tipos se expresan en generaciones. Esta dinámica permite apreciar cambios en sus ideales, sus propósitos, sus valores y sus alcances. Las sucesiones generacionales implican también el acuerdo, terso o con tensiones, sobre las

herencias. Estas pueden ser de diferentes maneras: patrimoniales, de prestigio, de organización, de valores, de presencia, etc.

Cada generación significa un relevo que si no se prepara puede conducir al fracaso en los intentos emprendedores en la producción, la organización, etc. El relevo requiere, sobre todo en los que se podrían entender como dirigentes comunitarios y regionales, la formación en una serie de atributos personales y grupales, mismos que no pueden ser improvisados pues podrían poner las propuestas de desarrollo en riesgo.

Los relevos generacionales, si bien incluyen las formas tradicionales de la familia, pueden extenderse hacia otras personas o grupos, con lo que amplía el universo de acción. Un elemento que distingue las actuales sucesiones es que los herederos en general poseen un nivel de educación formal superior al de sus antecesores. Eso permite contar con profesionales en las direcciones y orientaciones de comunidades, organizaciones, grupos y empresas, lo cual permite plantear nuevas aspiraciones y promover proyectos y acciones de otra envergadura.

Con estas consideraciones se logra dilucidar que las comunidades, regiones, organizaciones y grupos mantienen un proceso dinámico en el que se expresan conflictos, identidades, intereses y proyecciones personales y de colectivos. Cuando se destaca a los individuos que inician y continúan las genealogías, cobran fuerza algunos de los participantes, los cuales se nombran como "singular significativo", esto es, un individuo que por sus características es capaz de explicarnos un proceso y un contexto.

Evidentemente la comprensión genealógica ayuda a entender las dimensiones de trayectorias y de redes. La elaboración de gráficos y mapas genealógicos permite recuperar de otra manera el proceso comunitario, con riquezas y vivencias, con relaciones más nítidas.

4.3. *Las trayectorias tecnológicas*

Las acciones de inserción de actores externos que promueven el cambio tecnológico no pueden ser aisladas o eventuales. Si se expresan así su sentido será muy limitado, generalmente de una utilidad muy discutible para el investigador y de nulo o escaso interés para las comunidades y sus pobladores. De esta manera, las inserciones que promueven la innovación deben incorporar propuestas ambiciosas y fundamentadas en procesos que muestren cada vez mayor riqueza en conocimientos; además, se deben comprender en el largo o mediano plazo.

Cuando se incorpora la dimensión temporal, en cuanto se vislumbra el proceso, el trabajo comunitario requiere comprender una historicidad propia circunscrita al ámbito regional de las experiencias previas —como antecedentes—, la cual permita al mismo tiempo señalar el sentido de los trabajos y de los objetivos de desarrollo comunitario y proporcione una perspectiva de las actividades encaminadas a promover la innovación. Se trata no solo de recuperar experiencias del pasado sino cargar de futuro a las organizaciones y a las regiones.

De ahí la necesidad de incorporar el análisis de las trayectorias tecnológicas, las cuales se comprenden como un espacio entre un origen y un destino. Incluye al mismo tiempo la reflexión sobre un trayecto, un tramo de camino o de un proceso, es decir, una línea de tiempo con hitos marcados por la inserción de innovaciones de producto y de proceso. También incluye el análisis del tránsito de los intentos, propuestas y aplicaciones, las fricciones y dificultades, las aceptaciones y rechazos, la adopción, adaptación e innovación de las iniciativas.

Las trayectorias plantean un proceso, un inicio, etapas, así como un horizonte o perspectiva y requieren diferentes versiones, desde la econo-

mía, la sociología, la antropología y la historia, explicaciones complejas y cada vez más completas que aprecian la formación de identidades, así como las comunidades en construcción (sus dificultades y tendencias) y descubren sus relaciones múltiples. Dentro de este acercamiento a la comunidad y sus organizaciones se puede advertir la importancia de los pioneros, las personas que incorporan nuevas opciones y señalan nuevos rumbos. En ocasiones es posible reconocerlos como innovadores, no solo en el ámbito productivo, sino en la organización, los valores manejados, las creencias y las manifestaciones.

La trayectoria tecnológica comunitaria no está aislada. Esto se entiende mejor cuando se incluyen elementos regionales que manifiestan rasgos de una identidad compartida e incluso se pueden apreciar características y tendencias nacionales y mundiales. Las aportaciones y orientaciones que se denominan pioneras pueden clasificarse por su alcance —local, regional, nacional— y por su importancia —estratégica o circunstancial, formadora de personalidades e identidades o intrascendente—. En todos los casos, para ser considerada importante, debe aportar elementos que consoliden a la comunidad mediante sus organizaciones, la formación de instituciones —escuelas, iglesias, gobiernos— o la consolidación de comportamientos culturales identitarios.

Esto podría llevar a considerar un sistema regional de innovación en el que se destacan los aspectos innovadores, así como los agentes que lo promueven, los cuales pueden estar semiocultos por lo cotidiano y no ser reconocidos en su importancia hasta que elementos externos, en este caso los investigadores y los universitarios, los destaquen.

De esa manera, el pionero que se menciona puede ser asociado con el “singular significativo”, un individuo que por sus características puede explicar un proceso; también se puede entender como un desviado po-

sitivo o un productor referido (individuos que con los mismos recursos que el resto de sus pares logran sobresalir en sus procesos productivos al introducir a su quehacer innovaciones de bajo costo y alto impacto). En este sentido se prefiere el método inductivo, que parte de lo individual para entender lo particular y lo general (Ocampo et al., 2017; Ginzburg, 1999). Si se encuentra a una persona así es importante seguirla en sus aportes y trascendencia, pues se tiene un verdadero hilo conductor de explicaciones, con el que se marcan con claridad las etapas y sentidos del proceso, que constituyen lo que se puede denominar la trayectoria comunitaria o regional. Este proceso se puede graficar mediante una línea de tiempo para apreciar sus etapas de manera clara y elaborar etapas que indiquen características de origen y madurez de las propuestas y sus resultados.

Este individuo, denominado “singular significativo”, productor referido o desviado positivo, adquiere mayor importancia cuando permite comprender a otros actores en el escenario comunitario o regional. Colectivos insospechados o que siempre permanecieron anónimos —jóvenes, mujeres, indígenas— o con una presencia disminuida se entienden en su valor. La incorporación de otros actores mediante el concepto de trayectoria incluye a los que se destacan al interior y exterior, como instancias de gobierno, universidades, instituciones, etc.

Como se aprecia, interesa comprender el proceso de formación comunitaria y regional en diferentes expresiones. Los resultados pueden ser importantes en tanto arribó a situaciones esperadas, pero no son suficientes ya que al seguir al proceso se incluyen las dificultades, las relaciones y alianzas establecidas, los aciertos y fracasos, la perseverancia y las desazones, las afinidades y los desencuentros. Entonces las explicaciones de los equipos de universitarios encaminados a la vinculación

podrán construir explicaciones que se completarán con la profunda riqueza de la vida comunitaria y regional, donde los diferentes actores se expresan en escenarios múltiples con dinámicas propias. Es acá donde los métodos cualitativos (transectos, apreciación visual, análisis el discurso, valoración de los relacionamientos) y cuantitativos (indicadores técnicos-productivos, análisis de niveles de adopción de innovaciones, mecanismos generadores de datos en general), al combinarse, conforman una hibridación que genera cajas de herramientas metodológicas más poderosas.

5. Conclusiones

Los procesos de vinculación universitaria sostenibles requieren rebasar las simplificaciones y atender a la complejidad, en tanto situaciones y procesos con múltiples determinaciones. Las herramientas y métodos cualitativos y cuantitativos deben combinarse, hibridarse, pues de esa manera las interpretaciones de la realidad de las comunidades serán más ambiciosas y ricas. Así mismo, es conveniente tener una ruta de entrada a las comunidades que permita efectuar un diagnóstico de la problemática de manera rápida y asertiva para luego proceder al diseño de estrategias de intervención.

Los enfoques metodológicos de las redes, las genealogías y las trayectorias tecnológicas combinan por sí mismas herramientas cuantitativas y cualitativas. Por ello, la incorporación en los trabajos de vinculación universitaria no es tarea sencilla, pues requiere precisar los mecanismos de aplicación y sus respectivos marcos conceptuales, técnicos, de instrumentos e indicadores. Cada situación, cada experiencia, puede ser abordada con los recursos de los métodos cualitativos y cuantitativos que, al ser combinados, prometen resultados de más altas miras y son

más apropiados para lograr mejores explicaciones, diagnósticos comunitarios y diseños de procesos de vinculación universitaria.

Si bien este documento ha transitado por las explicaciones de redes, genealogías y trayectorias tecnológicas, cada paso en el trabajo comunitario debe apuntar a explicar la situación, sus causas y los procesos de que deriva, así como a diseñar estrategias para contribuir a mejorar las condiciones y los términos de vida y trabajo de comunidades y regiones. La combinación de herramientas cualitativas y cuantitativas permite generar métodos de análisis híbridos que, por definición, tienen mayor potencial en los análisis que buscan generar y escalar las estrategias de vinculación universitaria.

Referencias

- Aguilar-Gallegos, N., Martínez-González, E. G. & Aguilar-Ávila, J. (2017). Análisis de redes sociales: Conceptos clave y cálculo de indicadores. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Serie: Metodologías y herramientas para la investigación, volumen 5
- Arellano Hernández, A. (2003). *La sociología de las ciencias y las técnicas de Michel Callon y Bruno Latour*, en: Ocampo Ledesma, J., Patlán Martínez, E. & Arellano Hernández, A. (Coordinadores). (2003). Un debate abierto. Escuelas y tendencias sobre la tecnología, UACH/CIESTAAM, México.
- Arellano Hernández, A. (Coordinador) (2011). *Tramas de redes sociotécnicas. Conocimiento, técnica y sociedad en México*. UAEM/ Miguel Ángel Porrúa, México.
- Arellano Hernández, A., Douville, H., Callon, M. & Latour, B. (2017). *Hacia una antropología del cambio climático*. Editorial Porrúa-UAEM, México.
- Atencio Ramírez, M., Gouveia, E. L. & Lozada, J. M. (2017). El trabajo de campo estrategia metodológica para estudiar las comunidades. *Revista Omnia*, No. 3, Universidad del Zulia.

- Cadena-Iñiguez, P., Rendón-Medel, R., Aguilar-Ávila, J., Salinas-Cruz, E., De la Cruz-Morales, F. & Sangerman-Jarquón, D. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1603–1617.
- Casas Guerrero, R. (Coordinadora), De Gortari, R., Luna, M., María Santos, J., & Tirado, R. (2001). *La formación de redes de conocimiento. Una perspectiva regional desde México*. IIS/UNAM-Anthropos Editorial, México.
- Denzin N. (1989). *Strategies of Multiple Triangulation. The Research Act: A theoretical Introduction to Sociological Methods*. New York: McGraw Hill.
- Denzin, N. & Lincoln, Y. (2005). *Handbook of Qualitative Research*. 4ta edición. Editorial Sage.
- Ginzburg, C. (1999). *Mitos, emblemas, indicios*. GEDISA, Barcelona.
- Granados, O. (2016). El enfoque cualitativo: ¿un complemento de la racionalidad o una variante del enfoque multimetodo en investigación científica?. *Sapientiae: Revista de Ciencias Sociales, Humanas e Engenharias*, Vol. 1, Núm. 2, 2016 Universidade Óscar Ribas, Angola.
- Johnson, B., Onwuegbuzie, A. & Turner, L. (2007). Toward a Definition of Mixed Methods Research, *Journal of Mixed Methods Research*, 2007; 1; 112.
- Latour, B. (1992). *Ciencia en Acción*. Editorial Labor, Barcelona, España.
- Latour, B. (2007). *Nunca fuimos modernos. Ensayos de antropología simétrica*. Siglo XXI Editores, Buenos Aires, Argentina.
- Latour, Bruno (2008). *Reensamblar lo social. Una introducción a la teoría del actor-red*. Editorial Manantial, Buenos Aires, Argentina.
- Ocampo Ledesma, J. (2004). *Sujetos y paradigmas tecnológicos: la tractorización del campo mexicano. Un escenario de conflicto desde Juchitepec, Estado de México*. Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales, UAM-Xochimilco, México.
- Ocampo Ledesma, J. (2007). *Paradigmas tecnológicos, sujetos tecnológicos*. Colección Ciencia, Tecnología, Sociedad No. 2, UACH/CIESTAAM, México.

- Ocampo Ledesma, J., Patlán Martínez, E. & Arellano Hernández, A. (Coordinadores) (2003). *Un debate abierto. Escuelas y tendencias sobre la tecnología*. UACH/CIES-TAAM, México.
- Ocampo Ledesma, J. & Reyes Canchola, R. (2017). *La Historia de la ENA-UACH: Encuentros y Desencuentros*. En: Ocampo Ledesma, J., Palacios-Rangel, M.I. & Reyes Toxqui, A. (Coordinadores) (2017). *De Aguas, Territorios y Tecnología: Dinámicas Regionales*. UACH, México.
- Ocampo Ledesma, J., Palacios-Rangel, M. I. & Lozano Toledano, A. (2017). *La organización social en la Sierra Mazateca*. En: Ocampo Ledesma, J., Palacios-Rangel, M.I. Reyes Toxqui, A. (Coordinadores): *De aguas, Territorios y Tecnología: Dinámicas Regionales*, UACH, CIESTAAM, México.
- Paniagua, J. (2012). *Proyecto de educación social para el desarrollo local en el medio rural: animación sociocultural y emprendimiento*. Universidad de Valladolid. Escuela Universitaria de Educación Palencia.
- Palacios-Rangel, M. I., Ocampo Ledesma, J. G., Martínez Viera, R., Capolongo, D., Forneris, P., Valero González, M., Fernández Prieto, L. & Diaz Marrero, C. (2012). Mario Calvino. Jornada de homenaje. Universidad Autónoma Chapingo.
- Rodríguez Espinosa, H. 2019. *Gestión de la innovación agropecuaria para el extensionista rural*. Biogénesis, Colombia.
- Rodríguez Sabiote, C., Pozo Llorente, T. & Gutiérrez Pérez, J. (2006). La triangulación analítica como recurso para la validación de estudios de encuesta recurrentes e investigaciones de réplica en Educación Superior. *Relieve*, V. 12, N. 2.
- Teddlie, C. & Tashakkori, A. (2009). *Foundations of mixed methods research. Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences*. Thousand Oaks, Sage.



Capítulo 3.

Evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.), en el Oriente Antioqueño, Colombia

Lina María Gómez Betancur

Ing. Agron., MSc, DSc. Profesora de cátedra de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo Gisas

Sara María Márquez Girón

Ing. Agric., DSc. Profesora titular de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo Gisas

Luis Fernando Restrepo Betancur

Estad., Esp. Profesor titular de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo Statistical

Resumen

Este artículo muestra los resultados de la investigación realizada para evaluar la problemática de productividad relacionada con una alta incidencia de plagas y enfermedades, agravada por el uso de prácticas agrícolas inadecuadas como el monocultivo y el uso de plaguicidas. Se realizó en

tres casos específicos identificados en el municipio de El Carmen de Viboral, Oriente Antioqueño. En el diseño metodológico se intercambiaron, recopilaron y sistematizaron experiencias y conocimientos entre las instituciones involucradas en el estudio y un grupo de 15 productores. Se utilizaron metodologías cualitativas y cuantitativas, como el diagnóstico participativo del estado en que se encontraban los agroecosistemas y la evaluación rápida con análisis de laboratorio, para medir la fertilidad del suelo y la sanidad del cultivo. Adicionalmente, se realizaron análisis estadísticos en tres tratamientos por medio de un diseño de clasificación experimental en bloques completamente aleatorizado de efecto fijo y análisis multidimensional de la varianza (**MANOVA**). Como resultado se obtuvo diferencia estadística entre tratamientos para las variables: altura, número de frijoles, peso de la vaina y rendimiento a favor del tratamiento que consistió en la siembra de maíz 45 días antes de la siembra del frijol.

Palabras clave: *biodiversidad, policultivos, cultivo frijol, agricultores, agroecología*

I. Introducción

La agricultura convencional ha tenido consecuencias generalmente negativas que impactan al medio ambiente y la economía de los diferentes países. Esto se debe a que no se han tomado medidas para preservar los recursos naturales, lo cual ha incidido en los componentes: suelo, agua, aire y biodiversidad. La agricultura está asociada con un porcentaje significativo de uso del suelo, el cual es explotado de manera continua a fin de satisfacer la demanda alimenticia de las personas. Así, los pastos y cultivos representan el 37% de la superficie de las tierras del mundo. Adicionalmente, se emplean grandes cantidades de agua para el riego

de los cultivos, mucha de la cual se desperdicia por el mal uso (Torres, 2019). La agricultura orgánica se presenta como una alternativa de estrategia de desarrollo que trata de cambiar algunas de las limitaciones detectadas en la producción convencional (Samayoa et al., 2003).

Entre 1940 y 1980 se dio una revolución industrial llamada revolución verde, relacionada con el sistema agroalimentario mundial, la cual tuvo como fin incrementar el rendimiento por hectárea de los cultivos tradicionales y no tradicionales. Esto se logró en gran medida gracias al desarrollo tecnológico de equipos y al avance en el conocimiento científico desplegado a través de la implementación de paquetes tecnológicos en la industria agrícola. La revolución trajo grandes consecuencias en lo referente al aspecto ambiental y en la incidencia social relacionada con el sector campesino. En la década de los setenta, organizaciones sociales y universidades empezaron a proponer diversas alternativas para dar solución a las problemáticas que el modelo hegemónico no lograba resolver (Altieri, 2002). En este contexto surge el enfoque agroecológico como un proceso emergente que intenta dar respuestas a las problemáticas existentes en el agro (Navarrete, 2017), trayendo un impacto económico, social y ambiental (Oliveira et al., 2014). Los sistemas de producción agroecológica tienen dentro de sus objetivos mejorar la calidad de vida de la población que cuenta con pequeños latifundios al maximizar los recursos productivos que poseen, al tiempo que se incorporan factores económicos, sociales y culturales (Altieri & Nicholls, 2002). La evaluación agroecológica se relaciona con aspectos de producción asociados al cultivo, aspectos ambientales, sociales y económicos.

En este capítulo se presenta una evaluación agroecológica asociada a tres sistemas productivos de frijol. Se seleccionó esta leguminosa pues, de acuerdo con Rivero et al. (2016),

la planta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye una de las fuentes más importantes de proteínas, hidratos de carbono, fibra y minerales en la dieta humana en los países en vías de desarrollo de las áreas tropicales y subtropicales. Además de su calidad como alimento, posee la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, dado que forma asociaciones simbióticas con bacterias que fijan nitrógeno atmosférico. (p. 59)

Adicionalmente, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) se produce en 129 países y su producción mundial es de 22,8 millones de toneladas, cuyo 64,8% se concentra en siete países: Myanmar, India, Brasil, México, Tanzania, Estados Unidos y China. El volumen de las exportaciones del cultivo del frijol a nivel mundial representa el 18% de la producción global, ubicándose en promedio en 4,1 millones de toneladas anuales (Fira, 2015).

En Colombia se siembra frijol en muchas regiones; la mayor producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Huila, Antioquia y Santander, donde el área promedio de siembra es de una hectárea. Este cultivo es de gran interés para el sector campesino debido a la sostenibilidad económica que se deriva de él, en parte porque ofrece la gran ventaja de que se puede sembrar en conjunto con otros cultivos y rotar con cultivos transitorios como el maíz y la arveja (Ospina et al., 2020). Es tradicional que lo cultiven pequeños y medianos productores localizados principalmente en la región andina.

En Antioquia la mayor producción está en el oriente del departamento; la oficina regional de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce, 2015) reportó que había 11.053 hectáreas sembradas en 2015, con un rendimiento de 1,39 toneladas por hectárea. Los productores del municipio de El Carmen de Viboral, ubicado justamen-

te en el oriente, aprovechan los servicios ecosistémicos del policultivo maíz (*Zea mays*)–fríjol.

Según Altieri & Nicholls (2007), los sistemas de policultivos se caracterizan por la diversidad de especies de plantas integradas alrededor de la necesidad de producir biodiversidad de alimento. Para Gutiérrez-Martínez et al. (2007) este policultivo permite mayor rentabilidad y trae beneficios para ambos cultivos pues protege el suelo de la erosión, mejora la fertilidad, corta ciclos de plagas y enfermedades y disminuye el número de desyerbas. De esta manera se obtiene mayor eficiencia en las labores de cultivo; se posibilita una mayor diversidad en el sistema de raíces, en tanto exploran el suelo de formas diferentes; se aprovechan mejor el agua, el espacio y la luz y no se perturba la naturaleza por el corte de madera para el tutorado. Los policultivos también generan un microclima que ayuda a la protección de los cultivos de condiciones meteorológicas adversas como vientos fuertes, sol excesivo y altas precipitaciones. Además, permite integrar mayores cantidades de biomasa al agroecosistema y reducir la entrada y dependencia de insumos externos (León-Sicard, 2009).

Por consiguiente, y según lo expuesto por Vélez Vargas et al. (2007), cuando se establece una asociación entre maíz y fríjol se aprovechan los beneficios ecosistémicos de los dos cultivos: el maíz sirve de soporte para el crecimiento del fríjol y, por su parte, el fríjol facilita la fijación de nitrógeno al suelo. En este sentido hay rendimientos mayores por unidad de área, con lo cual es más eficiente el uso de recursos económicos y ambientales (agua, nutrientes y luz), al igual que la mano de obra y tierra. Adicional a esto, mediante un modelo de producción sostenible es posible aumentar los ingresos de los agricultores al adoptar un adecuado manejo del agroecosistema, que también permite producir cul-

tivos sanos, fuertes y resistentes al ataque de plagas y enfermedades y protege el medio ambiente y la salud del ser humano gracias a la diversificación de cultivos y el no uso de agroquímicos, tal como lo establecen Gómez & Agudelo (2006) en la cartilla propuesta para la educación agroecológica de Corantioquia.

La investigación que sustenta este artículo tuvo como objetivo central evaluar tres sistemas de producción tradicional en El Carmen de Viboral. Se escogieron los cultivos de fríjol y maíz dada su importancia en el país, principalmente en zonas de economía campesina. Estos productos no solo son parte importante de la dieta (proporcionan proteínas y vitaminas) y de la vida cotidiana de la población, también se les han dado diversos usos como envoltura de alimentos y materia prima para combustible, construcción, productos industrializados, dietas ganaderas y artesanías (Vargas, 2014).

El objetivo de la presente investigación consistió en hacer una evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de fríjol (*Phaseolus vulgaris L.*) en El Carmen de Viboral, Departamento de Antioquia, Colombia. Con el fin de establecer cuál tratamiento es el más efectivo para ser implementado en la región, y así mejorar la producción asociada al cultivo, la calidad de vida de las personas que lo cosechan, entre otros factores.

2. Metodología

La investigación relacionada con el presente estudio se clasifica como descriptiva comparativa de tipo multidimensional, la cual se llevó a cabo en el municipio El Carmen de Viboral localizado en las coordenadas 6° 4' 55" N, 75° 20' 3" W, subregión oriente del Departamento de Antioquia, Colombia. Cuenta con una altitud de 2.150 msnm y tiene una tempera-

tura media de 17°C, características que lo convierten en una región ideal para la siembra de frijol. Posee un total de 46.751 habitantes (Sitio web Carmen de Viboral, 2015), ubicados en 55 veredas de la zona rural, con 16.453 habitantes, y 30.107 habitantes en la zona urbana. La región se caracteriza por la presencia de bosque montano bajo.

El estudio se efectuó con la participación voluntaria de 15 agricultores del municipio, con ellos se realizaron encuentros comunitarios en los que compartieron conocimientos y experiencias relacionadas con el manejo del cultivo, las cuales constituyen la base de actividades de investigación de científicos y profesionales de todas las disciplinas académicas interesados en formular estrategias de desarrollo rural a partir de distintos enfoques participativos. En las reuniones programadas se realizaron una serie de discusiones relacionadas con el tema y se efectuaron varios ejercicios grupales que permitieron la focalización de las prácticas y reflexiones asociadas con el cultivo del frijol.

Se utilizó un enfoque descriptivo comparativo de tipo multidimensional con el fin de analizar diversos componentes en las fincas de manera participativa. Este enfoque permitió dar una visión integral del objeto de estudio teniendo en cuenta los siguientes aspectos: capacitaciones y sensibilización de productores en temas relacionados con el enfoque de sistemas, cartografía, principios agroecológicos y técnicas de evaluación rápida de suelo y cultivo. La participación de los campesinos en el proceso investigativo fue fundamental, debido a la interacción de conocimientos compartidos relacionados con el cultivo del frijol, lo que permitió avanzar de manera significativa en pos de lograr los objetivos trazados.

Las variables cuantitativas evaluadas en la medición del cultivo fueron: peso, tamaño, número de vainas y número de granos de frijol; para realizar estas mediciones se utilizaron balanzas y calibradores digitales. Los

tratamientos utilizados en la presente investigación fueron: tratamiento 1 (T1): frijol y maíz sembrados simultáneamente; tratamiento 2 (T2): frijol en monocultivo orgánico y tratamiento 3 (T3): frijol sembrado 45 días después de sembrar el maíz.

En cuanto a la dimensión agrícola del estudio, se utilizó la variedad criolla de maíz y la variedad Cargamanto de frijol, las cuales se siembran en alturas desde 1.800 hasta 2.500 msnm. Estas variedades son utilizadas en el departamento de Antioquia y apetecidas en el mercado por el tipo de grano, color, forma y tamaño. No obstante, según lo afirman Montoya-Estrada & Castaño Zapata (2009), una característica desfavorable de los frijoles tipo Cargamanto es su alta susceptibilidad a enfermedades.

El frijol es un cultivo que requiere una serie de características para tener un rendimiento óptimo al momento de la cosecha. En general, el frijol crece en una temperatura de entre 15 y 27°C y a una altura entre los 1.000 y 3.000 msnm. En cuanto al suelo, este debe ser profundo, contar con un buen plan de fertilización y tener propiedades físicas óptimas, donde predomine la presencia de textura franco-limosa, si bien también tolera texturas franco-arcillosas. El frijol se desarrolla bien en suelos con pH que oscile entre 5,5 y 6,5, donde la topografía sea plana y ondulada, con buen drenaje. Es muy importante tener en cuenta al momento de la siembra cómo está constituido el suelo, con el fin de efectuar los ajustes requeridos para maximizar la cosecha.

Como base para la recomendación del abono aplicado al cultivo se trabajó con los resultados de las propiedades químicas (Tabla 1), propiedades físicas (Tabla 2) y propiedades biológicas (Tabla 3) obtenidas en las evaluaciones de laboratorio.

La planta de frijol se puede clasificar con base en sus hábitos de crecimiento, los cuales son: determinado arbustivo, indeterminado arbusti-

vo, indeterminado postrado, indeterminado trepador. Cada variedad de frijol debe tener unas condiciones de suelo adecuadas para su desarrollo vegetativo.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo

INDICADOR	RANGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Materia orgánica	Menor del 5%	5% – 10%	Mayor 10%
pH	Menor a 5,5	5,5 – 7	Mayor a 7
Al (meq/100 g suelo)	Menor del 1%	1% – 5 %	Mayor de 5%
Ca	Menos de 3	3 – 6	Mayor de 6
Mg	Menos de 15	15 – 25	Mayor de 25
K	Menor de 0,2	0,2 – 0,4	Mayor de 0,4
P (mg/Kg)	Menor de 15	15 – 30	Mayor de 30
S (mg/Kg)	Menor de 5	5 –10	Mayor de 10
Fe (mg/Kg)	Menor de 2,5	2,5 – 5	Mayor de 5
Mn (mg/Kg)	Menor de 0,6	0,6 – 2	Mayor de 2
Cu (mg/Kg)	Menor de 0,6	0,6 – 2	Mayor de 2
Zn (mg/Kg)	Menor de 1,6	1,6 – 4	Mayor de 4

Fuente: adaptado de Arias et al. (2007)

Tabla 2. Propiedades físicas del suelo

INDICADOR	RANGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Grado de la estructura	Débil	Moderada	Fuerte
Consistencia de los agregados	Poco consistentes	Consistentes	Muy consistentes
Resistencia del suelo a la penetración	Muy resistente	Resistente	Sin resistencia
Estado de la materia orgánica superficial	Presencia de residuos poco descompuestos	Presencia de residuos parcialmente descompuestos	Presencia de residuos bien descompuestos

RANGO			
INDICADOR	BAJO	MEDIO	ALTO
Velocidad de infiltración	Lenta, 1,5 – 5,0 cm/hora.	Moderada, 5,0 – 15,5 cm/hora	Muy rápida, > 50, 0 cm/hora
Cobertura del suelo	La totalidad del suelo está desnudo durante todo el año	El suelo tiene una cobertura entre el 1 y el 40% de su área, durante por lo menos 6 meses del año.	El suelo tiene una cobertura mayor del 80% de su área, durante más de 10 meses del año.

Fuente: adaptado de Usda (1999), Altieri & Nicholls (2002) y Pérez (2010)

Tabla 3. Propiedades biológicas del suelo

RANGO			
INDICADOR	BAJO	MEDIO	ALTO
Presencia de invertebrados	Sin presencia	Presencia moderada	Alta presencia
Presencia de lombrices	Sin presencia	Presencia moderada	Alta presencia
Actividad microbiana	No hay actividad microbiana	Moderada actividad microbiana	Alta actividad microbiana

Fuente: adaptado de Altieri & Nicholls (2002)

2.1. Arreglos espaciales en los sistemas de producción de la asociación frijol-maíz

Cada parcela estuvo compuesta de la siguiente manera: a) seis surcos de nueve plantas cada uno, para un total de 54 sitios por parcela; b) distancias de siembra entre surcos de 1 metro y 70 centímetros entre plantas;

c) tres repeticiones por cada uno de los tratamientos y d) aplicación de Bocashi a razón de 4 toneladas por hectárea. Los tratamientos se aplicaron de manera consecutiva a cada cultivo.

Los tratamientos evaluados, según validación previa con los agricultores, fueron: **tratamiento 1 (T1)**: frijol y maíz sembrados simultáneamente; **tratamiento 2 (T2)**: frijol en monocultivo orgánico y **tratamiento 3 (T3)**: frijol sembrado 45 días después de sembrar el maíz. Se escogieron estos tratamientos porque son experimentalmente los más adecuados para la zona, ya que presentan condiciones de desarrollo idóneas relacionadas con la adaptabilidad al suelo, clima, manejo de cosecha, entre otros factores.

2.2. Metodología estadística

Se empleó un diseño de clasificación experimental en bloques completamente aleatorizados efecto fijo, balanceado con submuestras. Se evaluaron seis unidades muestrales dentro de cada replicación. Los tratamientos fueron asignados de manera aleatoria con base en una distribución probabilística de tipo uniforme a partir del valor semilla.

Se realizó análisis multidimensional de la varianza (**MANOVA**) con contraste canónico de tipo ortogonal, determinando la vía máxima de verosimilitud y la dimensionalidad del contraste. Con la función canónica generada se realizó el análisis de la varianza para saber si existía o no diferencia entre los tratamientos, teniendo en cuenta todas las variables citadas en la Tabla 4.

El análisis se complementó con la técnica no paramétrica de Spearman con el fin de determinar la matriz de interrelaciones entre las variables para cada tratamiento. Se suplementó con análisis de clúster, componentes principales y estadística descriptiva exploratoria de tipo

unidimensional, cuyo objetivo era determinar la media aritmética, la desviación típica y el coeficiente de variación.

Las variables de tipo discreto cuya distribución probabilística era la de Poisson se transformaron con base en la familia BOX-COX, determinando el valor idóneo mediante la técnica de máxima verosimilitud. Se empleó el paquete estadístico SAS University.

Tabla 4. Definición de las variables

Variable	Naturaleza	Distribución	Medida	Tipo
Tratamiento	Control			Suplementaria
Planta	Control			Suplementaria
Bloque	Control			Suplementaria
Altura 30	Respuesta	Normal	Centímetros	Activa
Altura 60	Respuesta	Normal	Centímetros	Activa
Número de vainas	Respuesta	Poisson	Conteo	Activa
Peso de las vainas	Respuesta	Normal	Gramos	Activa
Largo vaina	Respuesta	Normal	Milímetros	Activa
Ancho vaina	Respuesta	Normal	Milímetros	Activa
Número de fríjoles	Respuesta	Poisson	Conteo	Activa
Peso fríjol	Respuesta	Normal	Gramos	Activa

Fuente: elaboración propia

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación rápida de suelo

En las tablas 5, 6 y 7 se detallan los resultados del índice de calidad de suelo obtenidos en la evaluación rápida realizada con los agricultores y en el laboratorio edafológico de la Universidad Nacional.

Tabla 5. Propiedades químicas del suelo

INDICADOR	VALOR
Textura	Franco-arcillo-arenosa
Materia orgánica	5%
pH	4,9
Al (meq/100 g suelo)	1%
Ca (meq/100 g suelo)	1,9
Mg (meq/100 g suelo)	0,35
K (meq/100 g suelo)	0,16
P (mg/Kg)	15 – 30
S (mg/Kg)	5
Fe (mg/Kg)	2,6
Mn (mg/Kg)	2
Cu (mg/Kg)	1
Zn (mg/Kg)	1

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con lo propuesto por Arias et al. (2007), el frijol requiere suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franca, con pH entre 5,5 y 6,5 y buen drenaje. En este sentido, los resultados de las propiedades químicas del suelo presentados en la Tabla 5 evidencian que, aunque la textura es ideal para el frijol, los demás indicadores muestran valores muy bajos en los que se requiere una recuperación de nutrientes y del pH. Para mejorar la disponibilidad de los elementos mayores y menores en el suelo y la cantidad de materia orgánica presente, se requiere aplicar materia orgánica.

En la Tabla 6 se puede apreciar un exagerado laboreo efectuado sobre el suelo, encontrando una resistencia a la penetración que afecta el desa-

rollo del cultivo. Adicionalmente se detectó presencia generalizada de residuos parcialmente descompuestos de tamaño medio a fino, sin olor desagradable y una velocidad de infiltración lenta, 1,5 – 5,0 cm/ hora. Según el estudio efectuado por Gliessman (1998), este modelo agrícola afecta negativamente los recursos naturales de los sistemas productivos a través de prácticas como labranza intensiva, métodos de irrigación inadecuados, manipulación genética de los cultivos, entre otros factores.

Tabla 6. Propiedades físicas del suelo

INDICADOR	VALOR	DESCRIPCIÓN
Grado de la estructura	Débil	Agregados o “peds” son apenas reconocibles al observarlos <i>in situ</i> en suelo húmedo. Cuando es removido el suelo, la estructura se quiebra fácilmente y genera pocos agregados o “peds” observables.
Consistencia de los agregados	Poco consistentes	Se rompen fácilmente con la presión hecha con los dedos.
Resistencia del suelo a la penetración	Resistente	Suelo resistente a la penetración o el cultivo tiene baja capacidad de penetración.
Estado de la materia orgánica superficial	Presencia de residuos parcialmente descompuestos	De tamaño medio a fino, sin olor desagradable.
Velocidad de infiltración	Lenta	1,5 – 5,0 cm/ hora.
Cobertura del suelo	El suelo tiene una cobertura entre el 1 al 40% de su área durante por lo menos 6 meses del año.	

Fuente: elaboración propia

En cuanto a la actividad biológica, como puede observarse en la Tabla 7, se encontró presencia muy baja de lombrices, invertebrados y fauna

microbiana. Esto confirma la deficiente calidad del suelo a la que conducen las prácticas de revolución verde que, al no ser adecuadas para el contexto, implican cambios radicales en los sistemas tradicionales de producción que afectaron negativamente la salud, la sanidad y la fertilidad del sistema agrícola.

Tabla 7. Propiedades biológicas del suelo

INDICADOR	VALOR	DESCRIPCIÓN
Presencia de invertebrados	Baja presencia	Se ve muy poca diversidad y número de invertebrados
Presencia de lombrices	Baja presencia	Se ven muy pocas lombrices y túneles
Actividad microbiana	Baja actividad microbiana	

Fuente: elaboración propia

3.2. Evaluación de los tratamientos de asociación frijol-maíz

Al efectuar el análisis descriptivo relacionado con cada uno de los tratamientos (Tabla 8), se destaca que al evaluar el número de vainas existe una diferencia significativa entre el T3 y el T1. El T1 (fríjol y maíz sembrados simultáneamente) obtuvo en promedio 8 vainas, el T2 (fríjol en monocultivo orgánico) logró 15 vainas en promedio y el T3 (fríjol sembrado 45 días después de sembrar el maíz) obtuvo 24 vainas en promedio. Al evaluar el peso de la vaina se observa que el T3 presenta diferencia significativa respecto a los demás tratamientos; sin embargo, en la variable largo de la vaina no se estableció divergencia entre los tratamientos. La variable peso del frijol obtiene los mejores resultados con el T3, con 70 gramos por planta, seguido del tratamiento 2, con 42,3 gramos por planta. En el T1 el resultado del peso muestra que el tamaño fue el me-

nor. Al evaluar el número de frijoles se observa que el T1 obtuvo 29 frijoles, el T2 obtuvo 57 frijoles y el T3 obtuvo un valor de 130 frijoles, por lo que se diferencia significativamente de los demás. Se infiere entonces que el T1 es el tratamiento con menor eficiencia en la producción y el T3 el que tiene mayor eficiencia en la producción de frijol.

Tabla 8. Análisis descriptivo por tratamiento

	Media±Std	Media±Std	Media±Std
Variable	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Altura 30	21,4 ± 2,2 ab	20,4 ± 2,8 b	37,5 ± 9,6 a
Altura 60	51,2 ± 11,5 c	106,8 ± 21,5 b	150,1 ± 17,0 a
Número de vainas	8,0 ± 31 b	15,0 ± 6,4 ab	24,0 ± 7,4 a
Peso de las vainas	23,2 ± 13,2 c	62,3 ± 44,4 b	93,3 ± 37,8 a
Largo vaina	122,3 ± 11,8 a	128,6 ± 14,3 a	140,1 ± 11,4 a
Ancho vaina	12,6 ± 1,5 a	14,4 ± 1,2 a	14,8 ± 1,4 a
Número de frijoles	29 ± 13,7 b	57,0 ± 33,7 b	130,0 ± 41,0 a
Peso frijol	18,2 ± 10,6 c	42,3 ± 31,4 b	70,1 ± 29,1 a

Fuente: elaboración propia

Los resultados presentados en la Tabla 8 confirman lo mencionado por Vázquez (2003), quien sostiene que entre los beneficios de la asociación maíz y frijol está la eficiencia en el uso de la mano de obra, la tierra y los recursos económicos y ambientales (agua, nutrientes y luz). El T3 presentó la mayor heterogeneidad al evaluar la altura de la planta a los 30 días de ser sembrada; sin embargo, al mes siguiente fue el más homogéneo. Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, el mejor comportamiento en la variable mencionada lo obtuvo el tratamiento en el que se sembró el frijol después de 45 días respecto al maíz y dicho resultado confirma las bondades del policultivo frijol-maíz (Vélez et al., 2007). Para las variables número de vainas, peso de la vaina, número de frijoles y peso del frijol (Rendimiento), el T2 fue el más heterocedástico,

siendo ineficiente en el aprovechamiento del espacio, el agua y el uso de los nutrientes del suelo, al quedar partes del terreno sin vegetación productiva, de acuerdo con lo observado en campo (Tabla 9).

La competencia dada entre dos especies se evidencia en el bajo crecimiento de ambas, como lo mostraron los resultados de la asociación maíz y frijol sembrados simultáneamente. Esto también se evidenció durante el ciclo del cultivo, el registro y el seguimiento, con lo cual se comprueba lo encontrado por Vázquez (2003). En el presente estudio se observó que cuando se realiza una siembra de frijol y maíz simultáneamente o en intervalos muy cortos (Tratamiento 1), se da una competencia por espacio, agua, luz y nutrientes del suelo, lo que se reflejó en los bajos niveles de peso de grano logrados en este tratamiento.

Tabla 9. Coeficiente de variación por tratamiento

	Media±Std	Media±Std	Media±Std
Variable	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Altura 30	10,1	13,5	25,5
Altura 60	22,5	20,1	11,3
Número de vainas	37,9	40,7	31,1
Peso de las vainas	56,9	71,2	40,6
Largo vaina	9,7	11,1	8,1
Ancho vaina	11,6	8,7	9,2
Número de frijoles	47,6	58,8	31,5
Peso frijol	58,1	74,0	41,6

Fuente: elaboración propia

Finalmente, al efectuar el análisis multivariado de la varianza (**MANOVA**), el cual tiene en cuenta todas las variables respuesta en un mismo análisis estadístico, se detectó diferencia altamente significativa en el efecto de los tratamientos ($p < 0,0001$), como se puede apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis multivariado de la varianza

Prueba estadística	Valor P
Wilks' Lambda	<0,0001
Pillai's Trace	<0,0001
Hotelling-Lawley Trace	<0,0001
Roy's Greatest Root	<0,0001

Fuente: elaboración propia

El análisis canónico efectuado en la dimensión dos que corresponde a un plano, se dio de acuerdo con los resultados derivados de la función de verosimilitud, el cual permitió afirmar que entre todos los tratamientos existe diferencia estadística con base en todo el conjunto de variables evaluadas (Tabla 11).

Tabla 11. Comparación canónica

Dimensionalidad	Valor propio	Valor p
Dimensionalidad 1	1,416	<0,0001
Dimensionalidad 2	0,321	<0,0001
Comparación canónica		
Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
c	b	a

Fuente: elaboración propia

En los resultados logrados con las variables en cada uno de los tratamientos se confirman los aspectos positivos de la asociación fríjol-maíz. Además, el maíz brindó soporte al fríjol, mientras este último fijaba el nitrógeno al suelo.

En la Tabla 12 se muestra la relación bidimensional entre el conjunto de variables respuesta; allí se destaca el tratamiento 1, en el que se detec-

tó relación directamente proporcional entre la altura alcanzada a los 60 días y el largo de la vaina. El número de vainas se relacionó con el peso y el largo de la vaina. La variable que más se relaciona con las demás fue la longitud de la vaina. Para el tratamiento 2 el ancho de la vaina y la altura alcanzada a los 60 días no se relacionaron con ninguna otra variable de manera significativa ($p>0,05$), de igual forma sucedió para esta última variable en el tratamiento 3.

Tabla 12. Correlación de las variables por tratamiento

Tratamiento 1							
	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V2							
V3							
V4							
V5							
V6							
V7							
V8							

Tratamiento 2							
	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V2							
V3							
V4							
V5							
V6							
V7							
V8							

Tratamiento 3							
	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V2							
V3							
V4							
V5							
V6							
V7							
V8							

Las celdillas pigmentadas con negro indican relación significativa y directamente proporcional entre las variables ($p < 0,05$). V2= altura 60 días, V3= número de vainas, V4= peso de la vaina, V5= largo vaina, V6= ancho de la vaina, V7= número fríjol, V8= peso fríjol.

Fuente: elaboración propia

El análisis de componentes principales permitió ratificar la disparidad entre los tratamientos al suplementarlos sobre las variables respuesta activas, como se aprecia en la Figura 1. En el mismo plano se evidencia una relación más fuerte entre el ancho de la vaina y la longitud alcanzada por ella; de igual forma, se ve que la altura de la planta no tiene una interacción marcada con ninguna otra variable. Por otro lado, el número de fríjoles y su peso se relaciona más con el peso de la vaina.

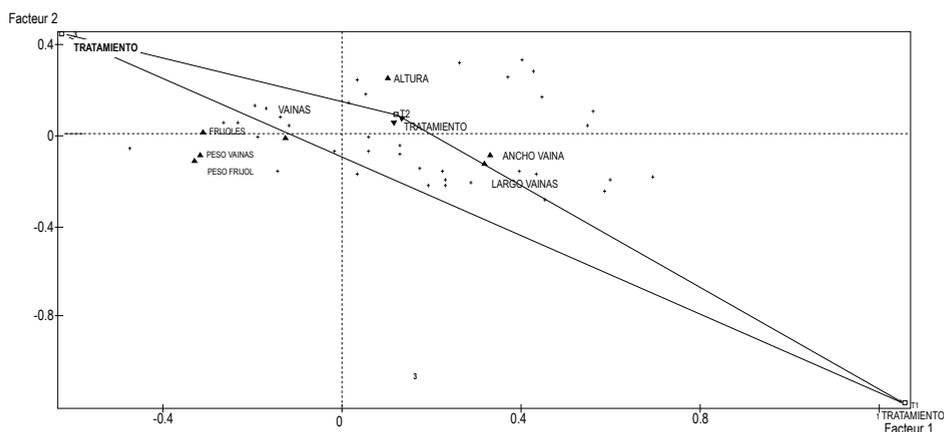


Figura 1. Plano factorial derivado del análisis de componentes principales
Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 se observa que existe asimetría en la distribución de las plantas proyectadas sobre los ejes factoriales, se ve una aleatoriedad en la dinámica de comportamiento sobre cada factor. También se evidenció en los resultados el principio de convivencia entre especies en un sistema de cultivo intercalado, donde la separación espacial de especies y la diferencia en tiempos de siembra promueven una reducción en la competencia y genera eficiencia en rendimiento y uso de recursos.

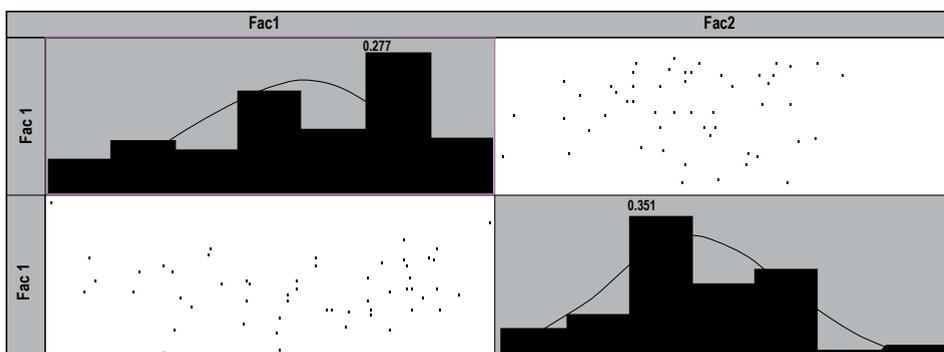


Figura 2. Distribución espacial de las submuestras sobre los factores
Fuente: elaboración propia

4. Conclusiones

En el desarrollo del cultivo se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos respecto a las variables: altura de planta, número de vainas, peso de vainas y rendimiento. Los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento de asociación (T3: siembra de maíz 45 días antes de la siembra del frijol), lo que mostró los beneficios de la interacción entre frijol y maíz, con la consecuente obtención de mejores resultados.

Cuando se realiza una siembra de frijol y maíz simultáneamente o en intervalos muy cortos, se da una competencia por espacio, agua, luz y

nutrientes del suelo, lo que se reflejó en los bajos niveles de peso de grano logrados en este tratamiento.

Con el tratamiento 2 (fríjol en monocultivo orgánico) se evidenció cómo el monocultivo es ineficiente en el aprovechamiento del espacio, el agua y los nutrientes del suelo en el agrosistema, al quedar partes del terreno sin vegetación productiva.

La participación de los campesinos en el proceso investigativo fue fundamental, debido a la interacción de conocimientos compartidos relacionados al cultivo del frijol, lo que permitió avanzar de manera significativa en pos de lograr los objetivos trazados.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. A. (2002). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Buenos Aires–La Plata, 49-56.
- Altieri, M. & Nicholls, C. I. (2002). Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. (en línea). Manejo integrado de plagas y agroecología. CR. (64), 17-24.
- Altieri, M. A. & Nicholls, C. I. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Revista Ecosistemas*, 16 (1).
- Arias, J. H., Jaramillo, M. & Rengifo, T. (2007). Manual Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de frijol voluble. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA-Centro de Investigación La Selva, convenio FAO-MANA. Medellín-Colombia*.
- Fenalce (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). (2015). Situación actual y perspectivas del cultivo de frijol. Departamento de Información Económica y Estadística. Área, Producción y Rendimiento. Bogotá Colombia.
- Fira. (2015). Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. México.

- Gliessman, S. R. (1998). Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture. En: *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press.
- Gómez, L.E. & Agudelo, S.C. (2006). Cartilla para Educación Agroecológica. Corantioquia.
- Gutiérrez-Martínez, A., Aguilar-Jiménez, C. E., Galdamez-Galdamez, J., Mendoza-Pérez, S. & Martínez-Aguilar, F. B. (2007). Impacto socioeconómico de los sistemas de cultivos maíz-frijol-calabaza en la Frailesca. Chiapas, México. I Seminario de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos Sostenibles e Indicadores. Almería, España.
- León-Sicard, T. (2009). Agroecología: Desafíos de una Ciencia Ambiental en Construcción (Capítulo 2). *Vertientes del Pensamiento Agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones*. SOCLA. pp. 44-67.
- Montoya-Estrada, C. N. & Castaño Zapata, J. (2009). Microorganismos asociados con granos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad cargamanto blanco. *Agronomía (Manizales)*, 17(2), 25-35.
- Navarrete, C. L. (2017). *El enfoque agroecológico: Una alternativa al Modelo Agroindustrial*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Rosario Facultad de Ciencia Política y Relaciones Internacionales..
- Oliveira, E., Andrade, F. V., Mello, J. C., Machado, T. B. & Pereira, C. R. (2014). Efficiency assessment for a group of agroecological family farmers using data envelopment analysis. *Horticultura Brasileira*, 32(3), 336-342.
- Ospina, C. E., Martínez, J. C., Contreras, K. & Tautiva, L.A. (2020). Análisis socioeconómico del cultivo de frijón en Cundinamarca (Colombia), para la identificación de un Sistema Agroalimentario Localizado (SIAL). *Rivar*, 7(21).
- Pérez, M. (2010). Guía metodológica al sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos. Corporación Ambiente Empresarial. Bogotá D. C, Colombia.
- Rivero, M., Plaza, P.M., Gaibor, R.R., Mozena, W. & De Brito, E.P. (2016). Abonos verdes y su influencia en el crecimiento y rendimiento del frijón (*Phaseolus vulgaris* L.), en condiciones agroecológicas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, I. 73(1), 59-64.

- Samayoa F., Naranjo L., Brenes L., Arce J. (2003). Taller Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza Del 19 al 21 de mayo de 2003 Turrialba, Costa Rica.
- Sitio web Carmen de Viboral. (2015). Nuestro municipio. http://elcarmendeviboral-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml
- Torres, P. A. (2019). *Elaboración de una propuesta de un sistema agroecológico de producción de arveja para aportar a la conservación de los recursos naturales y a la seguridad alimentaria. estudio de caso, finca casa blanca ubicada en el municipio de subachoque – Cundinamarca*. [Tesis de grado]. Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería Ambiental Bogotá,.
- Usda. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. *National Soil survey, Center Natural resources Conservation Service*. USA
- Vargas, L.A. (2014) Maize, A Traveller Without Luggage. In: *Anales de Antropología* 48 (1), January. 123-137p.
- Vázquez L. (2003). *Manejo Integrado de plagas. Preguntas y respuestas para técnicos y agricultores*. Plaza de la Revolución, Cuba: Agencia de Información y Comunicación para la Agricultura (Agrinfor).
- Vélez Vargas, L. D., Clavijo Porras, J., & Ligarreto Moreno, G. A. (2007). Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays L.*)-frijol voluble (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2)



Capítulo 4.

Lineamientos para la formulación participativa de programas de desarrollo agropecuario local

Claudia M. Castaño Ramírez

Ing. Agropec., Est., MSc. Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia

José Fernando Guarín

Zoot., MSc, PhD. Profesor asistente, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia

Holmes Rodríguez-Espinosa

Ing. Agric, MSc, PhD, Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA)

Resumen

El PAM (Programa Agropecuario Municipal) es una herramienta metodológica necesaria para la planificación participativa del desarrollo agropecuario a través de la cual se definen las necesidades que tienen las comunidades en el sector rural de los municipios en nuestro país. El objetivo de

este documento es dar lineamientos acerca de la metodología para la elaboración de programas de desarrollo agropecuario local de manera participativa a partir de la experiencia desarrollada en el municipio de Barbosa, Antioquia. Se encontró que la formulación del PAM significó una oportunidad para fortalecer la gestión municipal con la comunidad y en especial con sus Juntas de Acción Comunal, reunidas en Asocomunal, las Aldeas y el Consejo Municipal de Desarrollo Rural (CMDR), logrando la integración de los planes de desarrollo municipal con las necesidades reales en materia de mejoramiento de la calidad de vida y entre ellas sus aspectos económicos y de producción.

Palabras clave: *desarrollo, participación, planificar, territorio*

I. Introducción

La legislación colombiana establece, en el decreto 2379 de 1991 (MADR, 1991), que la planificación del acompañamiento a los productores agropecuarios es responsabilidad de los municipios y que debe estar en concordancia con los Programas Agropecuarios Municipales del Plan de Desarrollo, los cuales deben ser aprobados por el Consejo Municipal de Desarrollo Rural (CMDR). La misma legislación establece que el Plan Agropecuario Municipal (PAM) es un instrumento de planificación que permite al municipio direccionar el desarrollo agropecuario local en función de las necesidades de su población y de los aspectos técnicos, socioeconómicos y ambientales que se deben tener en cuenta para la ejecución de proyectos de asistencia técnica.

El municipio de Barbosa, Antioquia, no cuenta con un programa agropecuario construido de forma participativa con los productores locales que permita tener claridad sobre las necesidades del territorio e identi-

car las acciones prioritarias que deben hacer parte de la política pública de mejoramiento de la producción agropecuaria. Esto se debe a la falta de información sobre las necesidades de los productores, a la deficiencia en la incorporación de los productores a procesos de planificación del desarrollo agropecuario y a la inexistencia de indicadores que permitan determinar el impacto de las acciones implementadas por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Ambiental del municipio. En consecuencia, hay bajos niveles de productividad del sector agropecuario, baja efectividad de la inversión pública y poco efecto en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del sector.

Considerando lo anterior, la formulación del PAM para el municipio de Barbosa fue una actividad identificada como prioritaria para la orientación del desarrollo del sector agropecuario del municipio. El proyecto que se describe en este capítulo se desarrolló con el fin de contribuir a solucionar la necesidad de involucrar a los productores agropecuarios en la identificación de sus necesidades, de manera que el municipio pudiera direccionar el desarrollo agropecuario según la realidad de sus pobladores rurales. De acuerdo con las necesidades del municipio, y siguiendo la meta institucional de la universidad de aportar al ciclo de políticas públicas, se pone en uso el conocimiento desarrollado por la Universidad de Antioquia en la utilización de técnicas participativas y herramientas de análisis para reducir la subjetividad del proceso de toma de decisiones.

Además, esta iniciativa hizo parte de los proyectos programados en el Plan de Desarrollo Municipal “Construyamos Juntos por la Paz” 2016-2019, en la dimensión económica del sector agropecuario, en la que se planteó la formulación del Programa Agropecuario Municipal (PAM) y la creación de política pública de Agricultura y Desarrollo Rural. Actualmente, el proyecto hace parte del Plan de Desarrollo Municipal “Barbosa

social ¡Es la gente!” 2020-2023, en el que se plantea la actualización e implementación del PAM dentro del programa Gerencia para el campo (diagnóstico, planificación, ejecución y concertación de estrategias de desarrollo rural integral).

Este proyecto se alinea con las áreas estratégicas “personas” y “prosperidad”, por lo cual contribuye a cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible. En el área “personas” busca mejorar la calidad de vida de los productores agropecuarios por medio de un servicio de extensión agropecuaria ajustado a sus necesidades, que les permita aumentar sus ingresos. En el área “prosperidad” busca el mejoramiento de las condiciones de vida a partir del acompañamiento del municipio para el desarrollo de infraestructura productiva e innovación agropecuaria. Adicionalmente, este proyecto pretende contribuir al fin de la pobreza, el hambre cero, el agua limpia y saneamiento, las ciudades y comunidades sostenibles, la producción y consumo responsable, la acción por el clima y vida de ecosistemas terrestres.

Esta alternativa contó con la participación de los habitantes del área rural, la Secretaría de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Económico de la Administración Municipal, las Juntas de Acción Comunal y los líderes de las Agencias Locales de Desarrollo Autónomo (Aldeas), una organización política del territorio propuesta por las organizaciones comunitarias en la que cada una se define a partir de características económicas, culturales, sociales, intercambio histórico y movilidad que diferencian a un territorio de otro (Municipio de Barbosa, 2012). Adicionalmente, involucró a La Fundación Social, la cual viene trabajando con los pobladores rurales del municipio desde el 2010 y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, la cual tiene presencia en el municipio desde el 2017 por medio de la asesoría para el fortalecimiento del Consejo Mu-

nicipal de Desarrollo Rural, la realización de dos prácticas académicas de estudiantes de último semestre del programa de zootecnia y la capacitación del personal de la secretaría en gestión de la extensión agropecuaria.

Para llevar a cabo un objetivo claro de formulación del PAM es necesario desarrollar acciones concretas y específicas que permitan la obtención de productos consolidados mediante el fortalecimiento de la capacidad de las comunidades rurales para participar activamente. Para ello se utilizan técnicas participativas de análisis que permitan identificar las acciones prioritarias que deben hacer parte de la política pública de mejoramiento de la producción agropecuaria.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este documento es presentar la metodología para la elaboración de programas de desarrollo agropecuario local de manera participativa, a partir de la sistematización del caso del municipio de Barbosa, para mejorar la toma de decisiones sobre las acciones prioritarias que deben hacer parte de la política pública de mejoramiento de la producción agropecuaria.

2. Metodología

Se utilizó una metodología de formulación participativa, desarrollada por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia (Rodríguez-Espinosa et al., 2015), a partir del método de análisis estructural prospectivo (Godet, 2007). Esta metodología se basa en una reflexión colectiva sobre las variables que caracterizan un sistema y las relaciones existentes entre ellas, con el fin de determinar los aspectos que más influyen en el desempeño de este.

Se partió de la identificación de las variables que afectan el desarrollo agropecuario del municipio de Barbosa, para luego realizar el análisis

de las relaciones de influencia y dependencia entre ellas, con base en lo cual se identificaron las variables clave, es decir, aquellas que requieren una acción prioritaria. Para la definición de las variables esenciales se realizaron 8 talleres con líderes comunitarios y productores líderes de las 8 Aldeas rurales del municipio. Estos talleres fueron coordinados por un equipo integrado por un profesional del área agropecuaria y un profesional del área social quienes, por medio de técnicas participativas, promovieron la generación de un ambiente de confianza para favorecer la participación de los productores en la identificación y elaboración del listado de variables que inciden en el sector agropecuario local.

Para el análisis de las relaciones entre las variables se realizaron 8 talleres con líderes de cada vereda en cada una de las Aldeas, en los cuales se utilizó una matriz cualitativa de doble entrada o de relaciones directas. Las variables se analizaron por parejas para identificar la influencia directa entre ellas; se asignó una valoración de 0 si no hay relación y de 1 a 4 si hay relación de influencia directa, siguiendo la escala: 1 = débil, 2 = mediana, 3 = fuerte y 4 = potencial (Godet, 2007).

Posteriormente se utilizó el programa MICMAC para la identificación de las variables clave, es decir, aquellas esenciales para el desarrollo del sector agropecuario de la zona de estudio. Para ello se hizo una clasificación directa, en términos de la influencia y la dependencia de cada variable representadas sobre un plano cartesiano, donde el eje de las abscisas (X) corresponde a la dependencia y el eje de las ordenadas (Y) a la influencia. Esto produjo una tipificación de las variables en: estratégicas, determinantes, excluidas y de desafío. De acuerdo con Godet (2007), las variables estratégicas son las que por su alto grado de influencia y dependencia constituyen parte fundamental para el futuro del sistema, por lo cual se utilizarán en la formulación del Programa Agropecuario Municipal.

Se elaboró una matriz DOFA para cada una de las ocho Aldeas con las que se trabajó. En estas los productores identificaron sus fortalezas, debilidades, amenazas y potencialidades con el fin de plantear los resultados como acciones para contrarrestar o aprovechar la situación. A través de herramientas como la matriz de clasificación de fincas y el análisis estructural prospectivo, estas acciones se convierten en líneas programáticas para la ejecución de proyectos que permiten el fortalecimiento del sector agropecuario (Rodríguez-Espinosa et al., 2016a).

Con la información recolectada en las matrices DOFA se logró también desarrollar la matriz de clasificación de fincas con la intención de entender de primera mano el acceso a recursos productivos de los predios y su vocación de producción. Posteriormente se realizó el análisis estructural prospectivo con el objetivo de hacer aparecer las principales variables influyentes y dependientes y con ello las variables esenciales para la evolución futura del plan y objetivos de desarrollo del territorio.

Una vez identificadas las variables estratégicas se realizaron grupos focales en conjunto con el personal técnico agropecuario de la administración municipal y con el CMDR, con el fin de validar la información, definir los componentes del Programa Agropecuario Municipal y elaborar los perfiles de proyectos para cada uno de estos componentes.

Es importante recordar que el PAM cuenta con unas fases específicas para su elaboración, tal y como lo proponen Rodríguez-Espinosa et. al (2016b) (Figura 1). Por los alcances de la propuesta sistematizada, este documento enfocará los resultados y discusión en lo que implican la fase 1 y la fase 2 hasta el punto 1. Se conserva el esquema completo por la importancia de cada una de las fases propuestas en el mismo.



Figura 1. Flujograma de actividades para la construcción del PAM

Fuente: elaboración propia

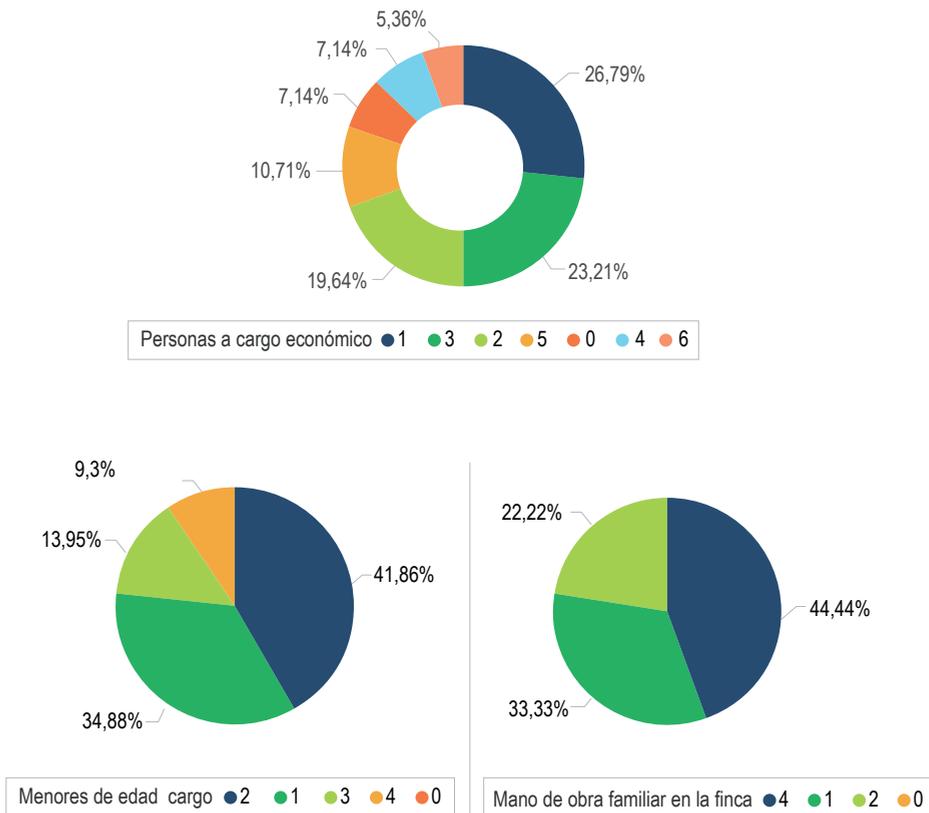
3. Resultados y discusión

3.1. *Visitas a fincas y caracterización con base en la realización de encuestas*

Además de los instrumentos de información secundaria, para el PAM del municipio de Barbosa se realizó una caracterización directa de la población rural del municipio, lo que permitió identificar que la producción agrícola del municipio está representada principalmente por el café, con más del 35% de la producción global, seguido de la caña, con alrededor del 15% de la producción global.

También se obtuvo información sobre tendencias de uso del suelo en cuanto a producción agrícola y pecuaria, pertenencia a organizaciones sociales, planificación de actividades, acceso a crédito, acceso a asisten-

cia técnica, composición familiar y uso de tecnologías, entre otras. Esta información fue clasificada por Aldeas para facilitar el diagnóstico de la situación de cada territorio dentro del municipio. En la Figura 2 se muestra un ejemplo para el caso de la Aldea Caminos de Esperanza.



Aldeas: **71=n**

- Caminos de Esperanza
- Diego Fernández
- El Hato
- Florencio Arango
- Fortín de las Aguas
- Frutos del Progreso
- Los Meandros
- Manantial de Paz
- Nuevo Amanecer
- Vicaguayaria

Figura 2. Distribución porcentual de la composición familiar rural de la Aldea Caminos de Esperanza
Fuente: elaboración propia

En esta Aldea, lo más común es que los hogares tengan una persona a cargo, seguido de tres personas a cargo. Un porcentaje considerable (76,8%) de los hogares rurales cuenta con personas menores de edad a cargo. Por su parte, una proporción importante de las familias (44,4%) cuenta con cuatro personas como mano de obra familiar.

En cuanto a la tenencia de la tierra en esta Aldea, se distribuye principalmente entre terrenos propios (50,7%), en sucesión (36,6%) o en arriendo (12,7%). En cuanto a la afiliación a la seguridad social, 82,6% de la población de esta Aldea se encuentra afiliada al régimen subsidiado de seguridad social en salud, mientras que el 13,0% está afiliado al régimen contributivo. Adicionalmente, 54,5% de la población de la Aldea Caminos de Esperanza participa de procesos organizativos sociales o comunitarios.

Con respecto al acceso a servicios, 74,6% de los predios cuenta con acceso al agua para la producción agropecuaria, lo cual facilita el cuidado de los cultivos y de la actividad pecuaria; 16,2% de los productores de la Aldea ha recibido asistencia técnica privada y 17,1% asistencia técnica del municipio. El acceso a maquinaria para la producción en la Aldea ha sido nulo para 49 productores, mientras que 6 emplean guadaña, 3 usan estacionaria y 2 personas motosierra; 76,5% de los productores han usado crédito para reforzar sus economías familiares.

Por otra parte, la mayoría (55,2%) de las fincas de la Aldea Caminos de Esperanza no hace planificación de actividades, lo cual representa una proporción considerable de familias que no cuentan con esta importante herramienta para la toma de decisiones. Con respecto al uso de tecnologías en sus cultivos, la mayoría de productores (61,7%) de la Aldea Caminos de Esperanza lo hacen.

3.2. Talleres de diagnóstico

Se realizaron 10 talleres con los productores en 8 de las 11 Aldeas del municipio. A estos asistieron representantes y líderes veredales, quienes eran productores y conocedores de los sistemas productivos en sus respectivas zonas, a fin de analizar la dinámica en la complejidad de los territorios rurales. Para ello se agruparon por Aldeas las líneas productivas o sectores con características similares, aplicando la metodología de la matriz DOFA para el estudio del sector agropecuario del municipio; se tuvieron en cuenta los aspectos sociales, económicos, humanos y ambientales.

Después de la identificación y ubicación espacial de las zonas productoras, se contactaron personas clave que participan activamente en uno o varios de los sistemas identificados. Con ellos se entablaron conversaciones por separado, especialmente para conocer las principales zonas productoras, los líderes del grupo de productores, sus intereses, objetivos y la dinámica del renglón en el municipio.

A partir de este ejercicio se identificaron como variables que afectan el desarrollo agropecuario las siguientes: 1) necesidad de extensión; 2) bajo nivel asociativo; 3) producción más limpia; 4) fomentar la seguridad alimentaria; 5) mercadeo agropecuario; 6) fomentar la reforestación y producción de frutales; 7) plan de residuos sólidos; 8) alto costo de abonos y concentrados y 9) altos costos de producción.

3.3. Talleres de priorización

Basados en las necesidades identificadas y mediante la metodología de elaboración de matriz DOFA se definieron las variables esenciales de cada Aldea (Tabla 3). Estas variables muestran cómo los habitantes del territorio perciben sus fortalezas y oportunidades de mejora (Tabla 1).

Tabla 1. Definición de las variables esenciales

Nombre de la Aldea	Variables identificadas a partir de la matriz DOFA	Recomendaciones a partir de la matriz DOFA
Caminos de Esperanza	Diversidad de pisos térmicos, cualificación de la mano de obra, disponibilidad de agua para la producción y buen estado de la vía de acceso.	Fortalecer la protección de zonas de reserva natural; desarrollar estrategias asociativas; mantener la capacitación y formación en asuntos pertinentes a la producción agropecuaria, la vida en comunidad y el desarrollo social rural; implementar iniciativas que promueven buenos hábitos alimenticios a partir de la producción limpia y para el autoconsumo.
El Hato	Acceso a internet, disposición de sus comunidades e interés en la formación académica para el desarrollo sostenible del sector agropecuario. Se evidencia la motivación en acercar entidades de educación superior a través de estrategias de virtualidad y formación descentralizada.	Mantener y abrir nuevos canales de distribución de sus productos dentro del municipio y sus alrededores, echando mano de la buena infraestructura vial. Mejorar las técnicas de producción basados en las Buenas Prácticas Agropecuarias para fortalecer áreas como costos de producción, producción limpia, delimitación y uso responsable de recursos naturales como el agua.
Florencio Arango	Infraestructura física como mejoramientos viales e implementación de plantas de acueducto y alcantarillado que permitan mejorar la calidad de vida de las familias que habitan la zona y favorecer la adecuada disposición de aguas servidas a fin de no contaminar las fuentes hídricas.	Capacitar a las comunidades en temas de rotación de cultivos, producción limpia e implementación de BPA les permitirá: contar con mayores herramientas para la planificación de su producción, trabajar en el mejoramiento de factores internos que mejoren el precio de venta final y el adecuado acceso a canales de financiación.

Nombre de la Aldea	Variables identificadas a partir de la matriz DOFA	Recomendaciones a partir de la matriz DOFA
Frutos del Progreso	<p>Fortalecer la institucionalidad desde la generación de herramientas de planificación como los censos agropecuarios municipales, el reconocimiento de los tipos de suelos y el acompañamiento integral y adecuado de sus comunidades.</p> <p>La atención de las necesidades básicas insatisfechas y la promoción de programas de permanencia para el relevo generacional son también asuntos que deben ocupar el interés de la institucionalidad en general para el municipio y en particular de esta Aldea.</p>	<p>La tenencia de la tierra y la diversidad de productos agropecuarios permitiría poner la mirada en esta Aldea para fortalecer las estrategias de financiación y capacitación en planificación de la producción para el desarrollo sostenible del territorio</p>
Fortín de las Aguas	<p>Contar con fortalezas como el liderazgo, la asociatividad y la visión de futuro.</p>	<p>Implementación de acciones que capaciten y fortalezcan la planificación de la producción agropecuaria con la incorporación de prácticas amigables y sostenibles, procesos que incentiven la generación de valor agregado en sus productos y procesos de educación que propendan por la permanencia de las nuevas generaciones en el territorio y que les permitan ver en él un escenario para el desarrollo de su proyecto de vida.</p>
Los Meandros	<p>La diversidad de cultivos junto con el acceso al recurso hídrico y a los mercados.</p>	<p>Se requieren acciones encaminadas hacia la seguridad y soberanía y la asistencia técnica que permitan capacitar a los productores, con el fin de mejorar los procesos existentes e impulsar la generación de valor agregado.</p>

Nombre de la Aldea	Variables identificadas a partir de la matriz DOFA	Recomendaciones a partir de la matriz DOFA
Manantial de Paz	Una capacidad productiva diversificada que se ha visto favorecida por el clima y las habilidades de emprendimiento. Estas pueden ser fortalecidas a partir de la generación de procesos de asociatividad que promuevan la integración comunitaria.	La asistencia técnica y el acompañamiento a los procesos de producción, junto con estrategias encaminadas hacia el acceso a maquinaria y herramientas para el sector, buscando enlazar la actividad con el Centro de Transformación Agrícola del municipio.
Vicaguayarta	Disponibilidad de mano de obra, diversificación de la oferta productiva, el arraigo y el conocimiento ancestral en agricultura.	Requiere acciones estratégicas que potencien sus recursos, tanto materiales como inmateriales, por medio de iniciativas para la transformación de la producción agrícola que permitan ampliar y fortalecer la oferta de productos, al tiempo que emplear la mano de obra disponible y los conocimientos propios de la comunidad para mitigar la falta de acceso a los mercados y la escasez de planeación productiva.

Fuente: elaboración propia

3.4. Análisis de las relaciones entre las variables

Al revisar el mapeo y la caracterización de 8 Aldeas de la zona rural del municipio de Barbosa, en las que se realizó un trabajo de construcción colectiva con las comunidades para la elaboración del Plan Municipal Agropecuario, se concluye que hay una necesidad sentida de las comunidades en aspectos como: 1) fortalecimiento de la institucionalidad para la atención y acompañamiento integral de las comunidades rurales; 2) puesta en marcha de planes y proyectos que favorezcan las condiciones de acceso a las necesidades básicas insatisfechas; 3) la potencialización

del sistema vial veredal que permita y garantice condiciones para el desarrollo y la competitividad y 4) la inversión en estrategias de educación, promoción del bienestar y fortalecimiento del sentido de pertenencia de la población más joven para favorecer el relevo generacional.

3.5. Elaboración de perfil de proyectos

Durante la fase de diagnóstico de los principales problemas del sector agropecuario de Barbosa, para el Programa Agropecuario Municipal 2020-2023, se llegó a un consenso entre la comunidad, el equipo técnico y la administración municipal para determinar y delimitar los principales sistemas de producción agropecuaria del municipio, así como sus problemáticas y estrategias de fortalecimiento, las cuales se definieron como perfiles de proyectos para la ejecución del PAM.

El Programa Agropecuario consta de “subprogramas” incluidos en los sectores 8 y 9 del Plan de Desarrollo “Barbosa social ¡Es la gente!” en el periodo 2020–2023. Estos subprogramas están constituidos por los “perfiles de proyectos”, los cuales tienen una estructura básica: breve descripción, objetivos específicos, productos y costos globales. Todo con la debida nomenclatura que facilita realizar el respectivo seguimiento por medio de un sistema de indicadores de gestión, tal como se presenta en la Tabla 2.

3.6. Lecciones aprendidas

La experiencia desarrollada en el municipio de Barbosa permitió identificar la necesidad de implementar acciones para la reactivación del CMDR que faciliten la participación de este en el proceso de monitoreo y evaluación de la ejecución del PAM. Para lograr que el CMDR se configure como un organismo de dinamización en la ejecución del PAM, este

Tabla 2. Perfiles de proyectos

Subprograma: Promoción del desarrollo – empleo – turismo: “Barbosa 4.0, competitiva, dulce y tropical como la piña”	
Título del proyecto	Productos
Asociatividad como estrategia de mejoramiento de la competitividad	Acompañamiento o apoyo administrativo y financiero para la promoción de las asociaciones de artesanos y productores rurales
	Formalización y formación de asociaciones de productores y emprendedores locales (prelación grupos vulnerables, jóvenes, víctimas)
	Fortalecimiento y asesoramiento a grupos asociativos legalmente constituidos (o en proceso), en todo lo referente a la economía solidaria, trabajo asociativo y en equipo, en torno a proyectos productivos con responsabilidad social
	Fortalecimiento del centro de acopio y de transformación de productos agropecuarios
Subprograma: Barbosa con desarrollo rural integral y competitividad para los sectores productivos tradicionales	
Título del proyecto	Productos
Estrategias de producción agroecológica en el municipio de Barbosa, Antioquia	Creación e implementación del banco de semillas e insumos agropecuarios
	Implementación del banco de maquinaria y herramienta menor para el sector agropecuario
	Implementación de proyectos que contribuyen a la sostenibilidad ambiental, social y económica y que incorporen elementos que promuevan la disminución de emisiones de gases efecto invernadero y cambio climático (art. 2 ley 1450 de 2011, ODS 13: Acción por el clima)
Estrategias de mercadeo agropecuario y agroindustria para los productores rurales de Barbosa, Antioquia	Desarrollo de los mercados campesinos local y regional
	Fortalecimiento del Centro de Transformación Agrícola (CTA) para la comercialización e industrialización de las producciones del sector campesino y de los trapiches paneleros
	Creación e implementación de ferias o subastas de ganado en el municipio

Fuente: elaboración propia

se debe capacitar en dinámicas de trabajo desde el enfoque organizacional y diseñar un modelo de gestión para el seguimiento y evaluación del PAM.

Por otro lado, se identificó la necesidad de consolidar lazos con instituciones que favorezcan la permanencia de los jóvenes en el campo a partir de estrategias educativas como PRAES en las instituciones educativas ubicadas en la zona rural del municipio y los Programas Productivos Agropecuarios, además de fomentar el acceso a la educación superior y la cualificación en aspectos útiles para el desarrollo del sector rural.

Igualmente, es importante incentivar la participación de la mujer rural y empoderarla como productora, fomentando su poder de decisión y visibilizando su importante rol en la construcción de ruralidad en aspectos sociales, ambientales y económicos.

Finalmente, teniendo en cuenta la disponibilidad de teléfonos celulares con acceso a redes sociales (Facebook y WhatsApp) entre los productores, se recomienda implementar un grupo de intercambio de conocimientos con los líderes de cada una de las Aldeas y otro grupo de consulta con el personal técnico de la Secretaría que permitan mejorar sus capacidades para la participación e intercambiar sus experiencias respecto a la implementación del PAM en cada uno de sus territorios.

4. Conclusiones

Esta metodología participativa para la elaboración de programas de desarrollo agropecuario local permitió a los actores involucrados en la planificación agropecuaria mejorar la toma de decisiones sobre las acciones prioritarias para el municipio, las cuales corresponden a las necesidades reales de las comunidades rurales organizadas, lo que favoreció su inclusión en el plan de desarrollo municipal.

Para mejorar este proceso se debe disponer de toda la información técnica del proceso de elaboración e implementación del PAM para los líderes y los profesionales a través de diferentes medios que favorezcan ejercicios participativos de formulación, al igual que la ejecución y veeduría.

Referencias bibliográficas

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2011). Planes Estratégicos Norte y Sur del Valle de Aburrá. Plan Estratégico de la Zona Norte del Valle de Aburrá. Medellín – Colombia.

DANE. (2014). Censo Nacional Agropecuario. Recuperado desde <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>

Decreto 2379 de 1991 [con fuerza de ley]. Por el cual se reglamentan los Decretos-ley 077 de 1987 y 0501 de 1989 en lo relativo a la prestación del servicio de asistencia técnica agropecuaria a pequeños productores y se modifica parcialmente el Decreto 1946 de 1989. 21 de octubre de 1991.

Godet, M. (2007). Prospectiva Estratégica: problemas y métodos. París: Cuadernos de LIPSOR.

Municipio de Barbosa (2012). Sistema Municipal de Planeación y Presupuesto Participativo. Plan Participativo 2012. https://e395b0f0-a0b8-4670-b0ea-734fadf5ab82.filesusr.com/ugd/ab0c62_78f86b9ca2214649aa3e495214259ce4.pdf

Municipio de Barbosa (2016). Plan de Desarrollo Municipal “Construyamos Juntos por la Paz” 2016-2019. Acuerdo 008 del 29 de abril de 2016 por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo Construyamos Juntos por la Paz” en el periodo 2016-2019.

Municipio de Barbosa (2020). Plan de Desarrollo Municipal “Barbosa social ¡Es la gente!” 2020-2023. Acuerdo 10 del 10 de junio de 2020 por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo “Barbosa social ¡Es la gente!” para el municipio de Barbosa, Antioquia en el período 2020 – 2023.

- Rodríguez-Espinosa, H., Ramírez-Gómez, C & Restrepo-Betancur, L.F. (2015). Propuesta metodológica para la formulación participativa de programas de desarrollo agropecuario local. *Revista Luna Azul*, 40(1), 134-164. <http://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.15>
- Rodríguez-Espinosa, H., Úsuga, A. V., Toro, I. C. & Gutiérrez, S. (2016a). Guía para la formulación del programa agropecuario municipal (PAM). Fondo Editorial Biogénesis, 38-38.
- Rodríguez-Espinosa, H., Ramírez-Gómez, C. J. & Restrepo-Betancur, L. F. (2016b). Nuevas tendencias de la extensión rural para el desarrollo de capacidades de auto-gestión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 31-42.





Capítulo 5.

El análisis de clúster como herramienta para la toma de decisiones basada en la tipificación de los usuarios

Holmes Rodríguez-Espinosa

*Ing. Agric, MSc, PhD, Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación
en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA)*

Luis Fernando Restrepo Betancur

*Estad., Esp. Profesor titular de la Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo Statistical*

Diana Guzmán Álvarez

*Ing. Agropec., DrSc(c). Profesora de cátedra, Universidad de
Antioquia, Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y
territorio (GAMMA)*

Resumen

El análisis de clúster es una técnica utilizada para agrupar un conjunto de datos en grupos (clústeres) con relativa homogeneidad, si bien son lo más heterogéneos entre ellos. Esta técnica, ampliamente utilizada en la literatura científica en tanto herramienta útil para la toma de decisiones, ha sido poco utilizada en los procesos de planificación rural.

El objetivo de este estudio es proponer una metodología apoyada en el *clustering* para clasificar usuarios por medio de la identificación de las relaciones entre sus características, con el fin de mejorar los procesos de planificación en el sector agropecuario. Se realizó un estudio de tipo cualitativo exploratorio empleando la técnica de estudio de caso sobre análisis de preferencias por actividades e infraestructura disponibles en el destino turístico donde se realizó un análisis de clúster. La metodología propuesta permitió clasificar los individuos en 3 clústeres e identificar la heterogeneidad entre sus preferencias y las características sociodemográficas de los individuos en cada conglomerado. Estos aspectos facilitan la toma de decisiones sobre estrategias de atención para cada agrupamiento con base en sus características particulares. Se concluye que el análisis de clúster es una herramienta con gran potencial para mejorar los procesos de planificación en el sector agropecuario a partir de la clasificación de usuarios con base en sus características específicas.

Palabras clave: *análisis de conglomerados, análisis multivariante, estrategias de desarrollo rural, planificación agrícola, planificación rural*

I. Introducción

La clasificación de los usuarios con base en su perfil es muy utilizada en la actualidad, en particular en las redes sociales, para generar contenidos personalizados en función de las preferencias de cada usuario, lo que genera mayores niveles de satisfacción. Una de las técnicas más utilizadas para el mejoramiento de la personalización de los contenidos es la modelación del comportamiento (Knijnenburg et al., 2012) por medio de modelos automatizados de análisis de información, para lo cual

se definen las variables dependientes e independientes que permitan obtener grupos homogéneos al disminuir la varianza entre individuos y maximizar la varianza entre grupos.

El análisis de clúster es una de las técnicas más utilizadas para la categorización de grupos. Es una técnica estadística multivariante, conocida también como análisis de conglomerado, que busca agrupar un conjunto de datos en grupos con relativa homogeneidad, que sean lo más heterogéneos entre ellos, los cuales se denominan clúster (de la Fuente, 2011). Se emplean 4 procedimientos de generación de conglomerados: 1) jerárquicos; 2) basados en densidad; 3) basados en redes y 4) particionamiento. Los algoritmos jerárquicos utilizan dos métodos: la aglomeración repetida, en la que se fusionan dos clústeres, y la división repetidamente, en la cual el clúster se parte en dos. Los algoritmos basados en densidad generan clústeres de tamaño arbitrario y con valores extremos; los algoritmos basados en redes permiten el agrupamiento eficiente de datos de gran tamaño (de la Fuente, 2011).

La literatura científica sobre categorización de individuos es amplia y se destacan experiencias como clasificación de usuarios de servicios públicos (Carpaneto et al., 2006), servicios turísticos (Ye et al., 2009), lectores de un periódico digital —a través de la minería de datos— (de la Hoz et al., 2017), imágenes satelitales —por medio de redes neuronales— (Arista-Jalife et al., 2017), programas de ingeniería industrial —que utilizan aprendizaje automático— (Fontalvo-Herrera et al., 2018) y perfil del turista para descubrir grupos de consumidores homogéneos y acondicionar la oferta a sus preferencias y demandas (Molina, 2007).

Para una clusterización adecuada es fundamental establecer la distancia o disimilitud de los individuos teniendo en cuenta el ángulo y la magnitud; entre las distancias más utilizadas se encuentran la distancia

euclidiana y Bray-Curtis. Estas permiten predecir la pertenencia de un individuo a un conglomerado cuando se cuenta con la información de interés para la investigación.

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta la aplicabilidad de esta técnica en la agricultura, el objetivo de este estudio fue proponer una metodología para la toma de decisiones en el sector agropecuario apoyada en el *clustering* que permitiera la clasificación de usuarios por medio de la identificación de las relaciones entre sus preferencias.

2. Metodología

Se realizó un estudio de tipo cualitativo exploratorio multidimensional de carácter transversal empleando la técnica de estudio de caso, con el propósito de proponer una metodología para la toma de decisiones aplicable al sector agropecuario con base en el análisis de clúster. Este estudio se realizó en tres fases: 1) revisión de literatura para la identificación del marco conceptual y estado del arte sobre análisis de clúster; 2) diseño del modelo de toma de decisiones con enfoque de clúster y 3) aplicación del modelo a un caso de segmentación de usuarios.

La primera fase se realizó por medio de un estudio interpretativo (Lamnek, 2005), a través de la técnica de análisis temático de contenido (Krippendorff, 2004), para la identificación de los hallazgos más importantes reportados en la literatura científica sobre el análisis de clúster. Se partió del establecimiento de los criterios de búsqueda para la identificación de las publicaciones requeridas (Rudas et al., 2013).

Posteriormente se realizó la búsqueda en bases de datos especializadas como Science Direct, Scielo y Dialnet, en las que se utilizaron como términos clave: “análisis de clúster”, “agricultura”, “planificación” y sus

equivalentes en inglés. También se hizo el análisis preliminar de los documentos identificados para establecer su pertinencia para el estudio, proceso en el cual se obtuvo un total de 43 artículos científicos.

Para la segunda fase se realizó el diseño del modelo de toma de decisiones con enfoque de clúster, compuesto por cuatro etapas: 1) selección de las variables clave, 2) definición del método de análisis de clúster, 3) selección del número de conglomerados y 4) análisis de las características de cada conglomerado.

En la tercera fase se realizó la aplicación del modelo para la toma de decisiones a un caso de segmentación de usuarios de agroecoturismo, como parte del proceso de validación de este, para ilustrar la forma de utilización.

3. Resultados y discusión

3.1. Marco conceptual

3.1.1. Análisis de conglomerados

Es un método exploratorio de tipo multidimensional que consiste en la identificación de unidades u objetos similares entre sí para la conformación de subconjuntos homogéneos al interior de cada grupo con diferencia entre ellos, lo cual facilita la interpretación del conjunto de datos; estos conjuntos se identifican por medio de técnicas estadísticas que tienen en cuenta el concepto de distancias geométricas de carácter multivariante. Esto implica: seleccionar, y en algunas ocasiones estandarizar, las variables relevantes para identificar los grupos, elegir la medida más adecuada de proximidad entre los individuos, seleccionar el método de conformación de los conglomerados y definir los criterios de evaluación para la identificación del número óptimo de grupos (Amicarelli et al., 2021).

3.1.2. Clúster

Se refiere al grupo de individuos o casos que resultan del análisis de conglomerados correspondiente a un conjunto de variables de naturaleza cuantitativa, de tipo continuo o discreto, o cualitativa, de tipo nominal u ordinal, agrupadas por su homogeneidad (Amicarelli et al., 2021).

3.1.3. Algoritmos para el análisis de clúster

Los algoritmos determinan las diferentes formas de medir la distancia entre clústeres, la cual genera diferentes agrupaciones. Esta es una decisión subjetiva del investigador, pues no se registra un criterio para seleccionar cuál es el mejor algoritmo; en este sentido, la decisión depende del método que refleje de mejor manera el propósito del estudio (de la Fuente, 2011).

3.1.4. Tipos de análisis de clúster

Existen dos tipos de análisis de clúster: no jerárquicos y jerárquicos. En el primero los datos se asignan a grupos que el propio análisis configura sin que unos dependan de otros, es decir, se forman grupos homogéneos sin establecer relaciones entre ellos. En el segundo se utilizan estructuras arborescentes en las que los clústeres más bajos son englobados por los de niveles superiores, es decir, los grupos se van fusionando de manera sucesiva siguiendo una jerarquía, de forma que la homogeneidad va decreciendo conforme se hacen más amplios los grupos (de la Fuente, 2011).

3.1.5. Métodos jerárquicos

Se utilizan para conformar un nuevo grupo, o separar uno existente, al maximizar la medida de similitud o minimizar la distancia. Los métodos jerárquicos se clasifican en asociativos o aglomerativos y disociativos: los primeros parten de tantos grupos como casos se tienen, los cuales se van agrupando hasta conformar grupos homogéneos; los disociativos

parten de un solo grupo con todos los casos, lo cual permite conformar grupos más pequeños a través de divisiones sucesivas (de la Fuente, 2011).

Los métodos jerárquicos asociativos más conocidos son: estrategia de la distancia mínima o similitud máxima, estrategia de la distancia máxima o similitud mínima, estrategia de la distancia o similitud promedio ponderada, métodos basados en el centroide, fórmula de recurrencia de Lance y Williams (método no ponderado), método de la mediana y método de Ward. Los métodos jerárquicos disociativos más comunes son: Linkage simple, Linkage completo, promedio entre grupos, método del centroide, método de la mediana, método de Ward y análisis de asociación (de la Fuente, 2011).

3.1.6. Método no jerárquico

Se utiliza para la clasificación de individuos, no de variables, definiendo la cantidad deseada de grupos a partir de los cuales se realiza el intercambio de los miembros de cada clúster hasta obtener la mejor agrupación. Los métodos no jerárquicos se clasifican en: reasignación, búsqueda de densidad, directos y reductivos. Los métodos jerárquicos de reasignación son k-medias y nubes dinámicas; los de búsqueda de densidad son análisis modal, métodos taxap, método de Fortin y método de Wolf; los métodos directos son block y clustering y, por último, el método reductivo es análisis factorial tipo Q (de la Fuente, 2011).

3.1.7. Distancia entre conglomerados

Se refiere a la distancia entre las observaciones y se pueden determinar de diversas formas: vecino más cercano, vecino más lejano, promedio de grupo y centroide (de la Fuente, 2011). El vecino más cercano se aplica cuando los conglomerados son más alargados y se tiene en cuenta la distancia entre los individuos más próximos de los conglomerados; el vecino más lejano se aplica cuando los conglomerados son más esféricos

y se tiene en cuenta la distancia entre los individuos más alejados de los conglomerados. Por su parte, el promedio de grupos se aplica cuando los conglomerados son más robustos, para ello se promedia la distancia entre los individuos dentro de estos grupos. Finalmente, el centroide se aplica para conglomerados más robustos al considerar la distancia entre los centroides o centros de gravedad de los conglomerados.

3.1.8. Medida de proximidad

La proximidad entre variables o individuos refleja el grado de asociación o relación por medios numéricos que caracterizan las relaciones entre ellos en un sentido específico, por lo que se debe elegir la medida apropiada para la situación concreta que se pretende estudiar. La medida de asociación puede ser distancia o similitud. La distancia permite conformar grupos con individuos parecidos en los que la distancia es pequeña entre ellos; una de las más utilizadas es la distancia euclídea. La similitud, por otra parte, permite conformar grupos con individuos con una semejanza alta entre ellos; algunas de las más utilizadas son la correlación de Pearson y los coeficientes de Spearman y de Kendall (de la Fuente, 2011).

3.1.9. Dendograma

Es una representación gráfica del proceso de agrupación que resulta del análisis de clúster, en la cual los individuos o variables similares se conectan por medio de enlaces determinados por el nivel de similitud entre ellos (de la Fuente, 2011). También se llama árbol de clasificación.

3.1.10. Selección de variables

La selección de las variables es un aspecto vital para determinar aquello que realmente contribuye a identificar los grupos requeridos con base en el propósito del estudio; se pueden utilizar para este tipo de análisis las variables cualitativas, ordinales o nominales, y las variables cuantitativas, discretas o continuas (de la Fuente, 2011).

3.1.11. Número óptimo de clústeres

El número óptimo de clústeres resultante del análisis de conglomerados es una decisión subjetiva que puede afectar la calidad en la conformación de cada agrupamiento. Esto se debe a que, para grandes volúmenes de datos, pocos clústeres pueden aumentar la heterogeneidad de cada conglomerado, mientras que muchos pueden complejizar la interpretación de los resultados. La decisión sobre el número apropiado de clústeres depende del criterio del investigador y sus requerimientos en términos de la separación entre conglomerados, por lo cual la decisión no siempre puede tomarse solo por los datos. Si bien la literatura sugiere que el número de conglomerados debe ser conocido o estimado a partir de los datos, fijar el número de clústeres por parte del investigador es una decisión legítima (Hennig, 2015). Existen varios criterios estadísticos para establecer el número adecuado de clúster, dentro de los que figuran: la técnica multivariada MANOVA; el criterio de Calinski y Harabasz; maximización de la traza BW-1; minimización del determinante W; minimización de la traza W; minimización de K^2 y el determinante W.

3.1.12. Medida de la distancia de verosimilitud

La medida de la distancia de verosimilitud se realiza por medio de la distribución de probabilidad entre las variables. Para ello se parte del supuesto de que las variables del modelo de conglomeración son independientes, que cada variable continua tiene una distribución normal y que cada variable categórica tiene una distribución multinomial (de la Fuente, 2011). Para comprobar el cumplimiento de estos supuestos se pueden utilizar análisis como: correlaciones bivariadas para comprobar la independencia de las variables continuas; tablas de contingencia para comprobar la independencia de las variables categóricas; medias para comprobar la independencia entre una variable continua y otra variable categórica; exploración para verificar la normalidad de una va-

riable continua y la prueba de chi-cuadrado para comprobar si una variable categórica tiene una determinada distribución multinomial (de la Fuente, 2011).

3.1.13. Método de Ward

Es una técnica de agrupamiento que une los casos minimizando la varianza al interior de cada grupo al calcular la media de todas las variables en cada conglomerado y la distancia de cada caso con la media del conglomerado, posteriormente se suman las distancias entre todos los casos. Los conglomerados se agrupan al calcular la menor suma de las distancias dentro de cada conglomerado. La ventaja de este método es que genera grupos homogéneos y con tamaños similares (de la Fuente, 2011).

3.1.14. K-medias

El análisis de agrupamiento de k-medias es una técnica estadística multivariante especialmente utilizada en estudios económicos con el objetivo de reconocer los grupos que surgen de forma natural a partir de las observaciones. También se ha aplicado con éxito en el campo de las investigaciones sobre el desperdicio de alimentos (Amicarelli et al., 2021).

3.2. *Tendencia de la investigación sobre análisis de clúster*

3.2.1. Análisis del consumidor

Di Vita et al. (2021) utilizaron el análisis de clúster mediante el método de Ward para identificar la preferencia del consumidor respecto al aceite de oliva extra virgen en Italia, para lo cual utilizaron tres tipos de atributos: locales, orgánicos e indicación geográfica protegida. Encontraron cuatro grupos con características sociodemográficas diferentes.

Amicarelli et al. (2021) recurrieron a la técnica de agrupamiento de k-medias para analizar los tipos de desperdicio de alimentos en Italia con

base en las actitudes, percepciones y patrones de comportamiento de los consumidores. Encontraron tres grupos: los que declaran un alto nivel de conciencia sobre el desperdicio de alimentos pero desperdician mucho; los que tienen una ligera noción de sostenibilidad y desperdician pequeñas cantidades de alimentos y los que conocen el tema y lo ponen en práctica.

Chong et al. (2020) utilizaron el análisis de clúster para estudiar el gusto de los consumidores por la carne de res. Encontraron cuatro conglomerados de consumidores: fáciles de complacer, amantes de la carne de toro, amantes de la carne tierna y exigentes. Se puede concluir que esta herramienta permite establecer las preferencias del consumidor que pueden orientar estrategias de marketing.

Tleis et al. (2017) estudiaron los perfiles de consumidores de alimentos orgánicos en el Líbano con base en variables de estilo de vida y actitud, para ello utilizaron el análisis de componentes principales y de conglomerados por la técnica k-medias. Hallaron cuatro grupos en función de las características psicográficas y la disposición de los consumidores a pagar por los productos orgánicos, a saber: localistas, conscientes de la salud, racionales e irregulares. Se puede afirmar entonces que esta herramienta permite la orientación de estrategias de marketing adecuadas para cada segmento de mercado.

3.2.2. Análisis ambiental

En Ghana, Gyimah et al. (2021) evaluaron la calidad del agua de un río utilizando clustering jerárquico por el método de Ward y distancia euclidiana como parámetro de similitud entre clústeres. Analizaron parámetros fisicoquímicos y obtuvieron tres conglomerados de acuerdo con sus características de calidad del agua: bastante buena, buena y mala. Identificaron para cada grupo las fuentes de contaminación.

Tkachev I et al. (2020) utilizaron el análisis de conglomerados para llevar a cabo un modelado matemático del desarrollo de la industria agraria con base en las inversiones. Hallaron tres grupos homogéneos por las características de distribución de sus inversiones.

Wang et al. (2020) evaluaron el consumo de energía en China aplicando análisis de datos espaciales con agrupación jerárquica espacial. Identificaron tres grupos de consumo, a saber: las partes noreste, norte y este de China.

Abdelkawy et al. (2020) evaluaron características como: número de plantas/m², fertilidad de macollamiento, altura de planta (cm), longitud de espiga (cm), número de espiguillas/espiga, peso de grano (g) y rendimiento de grano (g/m²) de veinte genotipos de triticale en un diseño de celosía alfa y RCBD para comparar su eficiencia relativa en el diseño de celosía alfa y RCBD. Encontraron por medio del análisis de conglomerados tres grupos principales.

Al Saad & Hamdan (2020) analizaron el efecto de diferentes variables sobre la calidad del agua de plantas de tratamiento en Iraq. Utilizando análisis de componentes principales, análisis de factor y análisis de clúster encontraron tres conglomerados entre las estaciones muestreadas en términos de la calidad del agua utilizada para consumo e irrigación.

Con el propósito de identificar grupos con perfiles de resiliencia similares en comunidades en Noruega, Opach et al. (2020) realizaron un análisis de conglomerados para dividir los municipios con base en indicadores socioeconómicos y ambientales como medidas de la resiliencia. Encontraron seis grupos de municipios que se enmarcan en un clúster urbano y un clúster suburbano, lo cual les permitió concluir que la agrupación contribuye a la generación de redes entre los municipios con características

de resiliencia similares con el fin de compartir procesos de planificación para enfrentar peligros naturales compartidos por sus territorios.

Meschede et al. (2019) realizaron un análisis de conglomerados en 502 islas en Filipinas para clasificarlas según sus similitudes en características socioeconómicas y físicas y el potencial de recursos energéticos autóctonos. Hallaron cinco clústeres y concluyeron que los resultados del análisis de conglomerados contribuyen a la definición de políticas para el mejoramiento de sistemas de energía inteligente adecuados a las características homogéneas de las islas.

3.2.3. Salud

Čelakovská et al. (2020) emplearon el análisis de clúster para determinar componentes moleculares relacionados con pacientes con dermatitis atópica; encontraron diez clústeres con diferentes números de componentes moleculares asociados a familias de proteínas acordes con su estructura bioquímica.

Escalera-Antezana et al. (2020) utilizaron el análisis de conglomerados para estudiar una enfermedad emergente en Bolivia. Hallaron un conglomerado de cinco casos y llegaron a la conclusión que el análisis de clúster permitió identificar los factores socioambientales y ocupacionales que pueden contribuir al riesgo de contagio y la transmisión zoonótica a los humanos.

3.2.4. Marketing

Chayathatto et al. (2020) utilizaron el análisis de conglomerados para estudiar la propuesta de valor de los grupos de empresas de la comunidad agrícola en Tailandia. Encontraron tres grupos distinguibles de empresas: empresas en desarrollo, empresas avanzadas y empresas

principiantes de marketing digital, lo que les permitió concluir que esta clasificación puede ayudar a las empresas y ejecutivos en la planificación, ejecución o evaluación de este tipo de empresas agrícolas comunitarias.

De la Hoz & Polo (2017) estudiaron las condiciones competitivas en las organizaciones empresariales de comercio exterior de Colombia; a través del análisis de conglomerados consideraron 16 factores clave en el potencial exportador y encontraron cuatro conglomerados homogéneos con base en el potencial competitivo. Concluyeron que el análisis de conglomerados y de las redes neuronales artificiales son útiles para discriminar niveles competitivos en el potencial exportador.

3.3. El análisis de clúster en el sector agropecuario

3.3.1. Producción animal

En Pakistán, Fatih et al. (2021) utilizaron el análisis de conglomerados jerárquicos basados en la distancia euclidiana enlace simple para predecir el peso de los camellos con base en su caracterización morfológica. Esto se hizo a partir de la determinación de los rasgos morfológicos que más influyen de forma positiva en la ganancia de peso. Concluyeron que esta herramienta puede ayudar a los criadores a reproducir camellos de élite.

Baron et al. (2020) también utilizaron el análisis de clúster jerárquico para clasificar granjas porcícolas y mercados en grupos acordes con sus métricas en el análisis de redes sociales en Argentina, con lo cual obtuvieron cuatro conglomerados: granjas pequeñas y de traspatio, granjas industriales, mercados y mercado periférico. Concluyeron que este análisis brinda información valiosa para determinar estrategias y costos más efectivos para realizar programas de control y vigilancia epidemiológica tanto para enfermedades emergentes como endémicas.

Konkina & Martynushkin (2020) evaluaron el nivel de sustitución de importaciones en Rusia utilizando el análisis de clúster con base en indicadores técnicos y económicos que caracterizan el desarrollo de la industria láctea. Hallaron que las regiones se dividieron en dos grupos: el primero con gran éxito en la organización de esta industria desde la perspectiva de la sustitución de importaciones y el segundo con poco éxito en este mismo aspecto. La conclusión a la que llegaron es que esta herramienta permite puntualizar las acciones requeridas para mejorar la sustentabilidad de la industria e intensificar los procesos de sustitución de importaciones a través del sistema de regulación estatal.

3.3.2. Producción agrícola

Islam et al. (2020) utilizaron el análisis de conglomerados para estimar la variabilidad genética a partir del rendimiento del grano en Tailandia. Encontraron tres grupos de genotipos con mejores rasgos diferentes y concluyeron que esta herramienta es útil para los programas de mejoramiento de variedades de arroz seco.

Hloušková & Lekešová (2020) utilizaron el análisis de conglomerados para examinar la estructura de las explotaciones agrícolas en la República Checa, para lo cual emplearon cinco dimensiones: producción, factores económicos, estabilidad financiera, factores ambientales y sociales; realizaron la clasificación de las granjas en dos conglomerados con características diferenciadas. Concluyeron que esta herramienta constituye un insumo para el diseño de políticas agrícolas para la identificación de áreas en las cuales debe incrementarse la sustentabilidad para mejorar el sector agrícola.

Torrado & Sili (2020) usaron el análisis de conglomerados para identificar los modelos de toma de decisiones en el sector agropecuario en Argentina. Para ello estudiaron las características productivas y socio-

familiares de los productores agropecuarios y los procesos de toma de decisiones en sus explotaciones agropecuarias en aspectos técnico-productivos y económico-financieros. Identificaron cuatro conglomerados con diferentes modelos de toma de decisiones: innovador en red, familiar-tradicional, familiar-empresarial y directivo-administrativo.

Abdulrahman & Hameed (2020) utilizaron el método jerárquico del análisis de conglomerados para estudiar la producción de cítricos en Iraq. Hallaron tres conglomerados en los cuales se agrupan las regiones productoras de cítricos.

Silva et al. (2020) analizaron cultivos hidropónicos y convencionales de Jambú con el fin de determinar su composición química. Mediante el análisis de clúster encontraron tres conglomerados bien definidos: dos de partes anatómicas y el otro del sistema de cultivo.

Por medio del análisis de clúster, Ullah et al (2020) construyeron regiones climáticas homogéneas en Pakistán orientadas a optimizar el uso del agua. Así, identificaron cinco conglomerados homogéneos relacionados con las características de cada estación muestreada. Concluyen que esta técnica contribuye a la gestión de los recursos hídricos, al monitoreo de las sequías y sus proyecciones y, en consecuencia, a la adaptación, mitigación y planificación base en las proyecciones climáticas.

Butler et al. (2020) estudiaron las relaciones minerales-nutrientes del suelo para comprender su fertilidad utilizando el análisis de conglomerados con el algoritmo de agrupación *fuzzy-c-means* con un conjunto de datos de difracción de rayos X en polvo (XRPD) de 935 suelos del África subsahariana. Encontraron nueve conglomerados mineralógicamente distintos.

Seaton et al. (2020) estudiaron el cambio de los suelos a partir de la identificación de parámetros clave de su salud y funcionamiento en el

Reino Unido; hallaron cuatro clases funcionales de suelos con base en el análisis de conglomerados y concluyeron que este insumo constituye una base importante para el monitoreo de los suelos y las políticas agroambientales.

Akbari et al. (2020) estudiaron la desertificación en Irán a partir de indicadores, utilizando análisis de factores y opiniones de expertos. A través del análisis factorial priorizaron los parámetros efectivos, 27 de ellos que justificaron el 78% de la varianza total y el análisis de clúster, mediante el cual priorizaron cinco conglomerados. Concluyeron que el análisis factorial y el análisis de clúster son herramientas efectivas para la priorización e identificación de criterios de degradación de la tierra.

Maione et al. (2019) utilizaron el análisis de clúster para establecer los perfiles de las familias de pequeños productores y agricultores familiares en Brasil con base en información demográfica, económica, agrícola y de inseguridad alimentaria. Emplearon el método *Silhouette* para la estimación del mejor número de grupos y el algoritmo de agrupamiento *Partitioning Around Medoids* para calcular los perfiles; así obtuvieron una buena separación de las familias en dos grupos.

Gavioli et al. (2019) evaluaron 20 algoritmos para el análisis de conglomerados: vinculación promedio, agrupación en bolsa, vinculación centroide, clara, vinculación completa, Diana, Fanny, FCM, cáscaras C difusas, aprendizaje competitivo duro, agrupación jerárquica híbrida, K-medias, Método de McQuitty, vinculación mediana, Neural Gas, partición alrededor de medoides, enlace único, K-medias esféricas, aprendizaje competitivo difuso no supervisado y método de Ward. Para ello tomaron datos de cultivos de soja y maíz en Brasil y encontraron dos grupos que corresponden a clases de rendimientos significativamente diferentes. Concluyeron que las divisiones se realizaron satisfactoriamente con 17 algoritmos;

adicionalmente, resaltan que el método de McQuitty y Fanny fueron las mejores opciones al producir las mayores reducciones en la varianza y generar clases con alta homogeneidad interna.

Marino & Alvino (2018) utilizaron el análisis de conglomerados para la detección de áreas de trigo homogéneas, para lo cual emplearon imágenes de sensores remotos multitemporales y rasgos agronómicos de los cultivos. Concluyeron que el análisis de clúster, utilizando UAS y datos reales del suelo, es una buena estrategia para identificar las áreas homogéneas de cultivo de trigo.

Rodríguez et al. (2018) utilizaron el análisis de clúster para el estudio de la sostenibilidad de agroempresas asociativas rurales en Colombia. Hallaron tres conglomerados y concluyeron que esta herramienta constituye un insumo importante para la formulación de políticas públicas de fortalecimiento de la asociatividad rural.

Poudel et al. (2017) estudiaron cincuenta genotipos de trigo en Nepal para identificar variedades tolerantes al estrés por calor. Utilizaron el análisis de clúster para el agrupamiento y encontraron tres grupos homogéneos. Así, concluyeron que esta herramienta tiene mucha utilidad para la identificación y el desarrollo de variedades tolerantes al calor y otras actividades de mejoramiento.

3.4. Modelo de toma de decisiones con enfoque de clúster

Con base en los referentes analizados y el estado del arte de la utilización del análisis del clúster, se propone la siguiente metodología para la toma de decisiones en el sector agropecuario, más concretamente en el agroecoturismo, apoyada en el *clustering* y orientada a la clasificación de usuarios por medio de la identificación de las relaciones entre sus preferencias.

Paso 1: selección de las variables clave

Este paso es fundamental para garantizar la calidad del análisis y, en especial, para alcanzar los resultados esperados, pues permite identificar las variables que son relevantes para el análisis y las que realmente contribuyen a identificar los grupos requeridos a partir de la definición clara del propósito del estudio (de la Fuente, 2011); por otra parte, omitir variables de interés puede conducir a que los conglomerados obtenidos no sean los más apropiados. Una estrategia recomendable es la realización previa de un análisis factorial exploratorio para disminuir el grupo inicial de variables a partir de la identificación de los factores comunes.

Otro aspecto a tener en cuenta es la estandarización de las variables. De esta manera se disminuye el efecto que pueden tener las diferencias en el escalamiento de las variables cuando se tienen, por ejemplo, algunas variables en años, otras en pesos y otras en número de personas. En tal caso el paso se debe realizar en el análisis jerárquico de clúster.

Paso 2: definición del método de análisis de clúster

La definición del método de análisis para la obtención de los conglomerados debe realizarse teniendo en cuenta que cada algoritmo utiliza una forma diferente de medir la distancia entre clústeres. Por ello, la decisión que se debe tomar en este paso depende del método que refleje de mejor manera el propósito del estudio (de la Fuente, 2011). Es importante para tomar la decisión tener en cuenta que existen métodos jerárquicos (asociativos y disociativos) y no jerárquicos; que los jerárquicos se pueden utilizar para clasificar individuos o variables y que los no jerárquicos solo se pueden utilizar para clasificar individuos.

A pesar de la variedad de métodos existentes, se recomienda la utilización del método de Ward pues, al ser una técnica que minimiza la varianza al interior de cada grupo, genera grupos homogéneos y con tamaños simi-

lares (de la Fuente, 2011). También se recomienda el método de K-Medias, ampliamente utilizado en estudios económicos (Amicarelli et al., 2021).

Paso 3: selección del número de conglomerados

Para seleccionar el número óptimo de conglomerados se debe recurrir al criterio del investigador sobre el número de clústeres apropiado. Se debe hacer de acuerdo con el propósito del estudio y partiendo de los resultados que arrojen los datos, pero teniendo en cuenta que es legítimo que quien investiga fije el número de clústeres (Hennig, 2015).

Paso 4: análisis de las características de cada conglomerado

En el último paso el investigador toma la decisión de analizar las variables de cada conglomerado de una manera que le permita presentar de forma clara las características principales de cada agrupamiento, es decir, aquello que lo diferencia de los demás y que, por tanto, le permite alcanzar el resultado de clasificar usuarios a partir de los propósitos que se tengan en el estudio.

3.5. Caso de aplicación de segmentación de usuarios

Para dar mayor claridad sobre el modelo de toma de decisiones propuesto se presenta a continuación su aplicación a un caso para la clasificación de turistas con base en sus demandas por recursos ambientales. Para ello se tomó una base de datos de 499 personas con variables demográficas y preferencias por actividades e infraestructura disponibles en un destino turístico. Estas variables son dicotómicas, con medición nominal, y politómicas, con medición ordinal en escala tipo Likert de 1 a 5, siendo 5 el mayor nivel de preferencia.

3.5.1. Selección de las variables clave

Con base en los referentes de la literatura se propusieron 33 variables de interés para el análisis de las demandas de los turistas por recursos am-

bientales. Para reducir esa cantidad inicial de variables se realizó un análisis factorial exploratorio, el cual permitió definir las variables que tenían mayor impacto. Al comparar la nacionalidad de los individuos para las variables seleccionadas se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los turistas nacionales y los extranjeros, con mayor nivel de preferencia por parte de los extranjeros (Tabla 1); la única variable en la que no se encontró diferencia significativa fue la percepción sobre las artesanías.

Tabla 1. Análisis descriptivo por tema y procedencia

Variable	Extranjero	Nacional
	Media \pm SD	Media \pm SD
Áreas verdes	3,87 \pm 0,99 a	3,49 \pm 1,29 b
Cuerpos agua	3,57 \pm 1,08 a	3,04 \pm 1,40 b
Avistamiento de aves	3,47 \pm 1,19 a	2,63 \pm 1,30 b
Avistamiento de flora	3,64 \pm 1,19 a	2,72 \pm 1,33 b
Artesanías	2,76 \pm 1,13 a	2,71 \pm 1,34 a
Educación ambiental	2,62 \pm 1,38 a	2,35 \pm 1,40 b
Rutas cafeteras	3,34 \pm 1,25 a	2,90 \pm 1,32 b
Arquitectura	3,41 \pm 1,20 a	3,07 \pm 1,31 b
Caminos de campo	3,71 \pm 1,11 a	3,19 \pm 1,27 b
Cultura rural	3,58 \pm 1,17 a	3,05 \pm 1,41 b
Rutas de fincas	3,43 \pm 1,19 a	2,73 \pm 1,35 b

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Fuente: elaboración propia

Para perfeccionar la selección de las variables clave se realizó un análisis de correlación de tipo bidimensional mediante la técnica no paramétrica de Spearman, lo cual permitió determinar las mayores relaciones directamente proporcionales. Para las personas provenientes del exterior se encontró: existencia de zonas verdes y avistamiento de aves; cuerpos de agua con presencia de aves y flora y visita a fincas cafeteras con muestras culturales de tipo rural. Para las personas nacionales la mayor

correlación se dio entre: áreas verdes con presencia de flora, fauna, educación ambiental, arquitectura y cultura rural. Adicionalmente, se asoció a las rutas cafeteras con otras variables como la caminata por el campo, por las rutas de las fincas y la presencia de la cultura rural (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de correlación por el método de Spearman

	Extranjeros										
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1	1,0	0,61	0,42	0,41	0,18	0,28	0,24	0,21	0,19	0,18	0,23
V2		1,0	0,52	0,43	-0,01	0,11	0,02	0,08	0,18	-0,01	0,06
V3			1,0	0,51	0,00	0,09	-0,01	0,03	0,18	0,08	0,14
V4				1,0	0,14	0,13	0,11	0,11	0,23	0,12	0,11
V5					1,0	0,48	0,32	0,39	0,16	0,19	0,31
V6						1,0	0,36	0,31	0,09	0,15	0,32
V7							1,0	0,38	0,17	0,30	0,50
V8								1,0	0,40	0,42	0,32
V9									1,0	0,36	0,34
V10										1,0	0,53
V11											1,0
	Nacionales										
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1	1,0	0,53	0,47	0,48	0,26	0,44	0,41	0,56	0,28	0,47	0,36
V2		1,0	0,46	0,42	0,13	0,35	0,28	0,34	0,40	0,33	0,30
V3			1,0	0,64	0,26	0,41	0,29	0,38	0,27	0,32	0,31
V4				1,0	0,26	0,48	0,31	0,38	0,25	0,44	0,27
V5					1,0	0,50	0,43	0,41	0,26	0,35	0,48
V6						1,0	0,49	0,43	0,29	0,44	0,45
V7							1,0	0,65	0,35	0,50	0,54
V8								1,0	0,50	0,53	0,45
V9									1,0	0,35	0,33
V10										1,0	0,61
V11											1,0

V1: Áreas verdes; V2: Cuerpos agua; V3: Avistamiento de aves; V4: Avistamiento flora; V5: Artesanías; V6: Educación ambiental; V7: Rutas cafeteras; V8: Arquitectura; V9: Caminatas campo; V10: Cultura rural; V11: Rutas fincas

Fuente: elaboración propia

Además de lo anterior, se efectuó el análisis multivariado de la varianza con la técnica MANOVA con contraste canónico; se determinó por la técnica de máxima verosimilitud el valor propio idóneo para efectuar la comparación entre nacionales y extranjeros, al igual que entre géneros, utilizando el paquete estadísticos SAS University. Al contrastar las preferencias entre nacionales y extranjeros se detectó diferencia altamente significativa (Tabla 3), a saber, que los extranjeros tienen mayor preferencia por los recursos agroecoturísticos. Igualmente, se identificó una divergencia entre géneros: las mujeres tienen mayor preferencia por este tipo de recursos.

Tabla 3. Análisis multivariado de la varianza MANOVA

		Comparación entre nacionales y extranjeros
MANOVA		
Wilks' Lambda		<0,0001
Pillai's Trace		<0,0001
Hotelling-Lawley Trace		<0,0001
Roy's Greatest Root		<0,0001
Contraste	Donde difieren	
Tukey	Áreas verdes	Mayor nota extranjeros
Tukey	Cuerpos agua	
Tukey	Avistamiento de Flora	
Tukey	Educación Ambiental	
Tukey	Rutas Cafeteras	
Tukey	Arquitectura	
Tukey	Caminata de campo	
Tukey	Cultura rural	
Tukey	Rutas fincas	
Tukey	Avistamiento aves	

Fuente: elaboración propia

3.5.2. Definición del método de análisis de clúster

El análisis de clúster se llevó a cabo empleando el algoritmo de clúster jerárquico denominado método de Ward (Hair et al., 2014). En este, los conglomerados se forman mediante la fusión de dos elementos con la característica de que la pérdida de información se minimiza. Es importante anotar que se tiene en cuenta la suma de cuadrados del error. Como medida de similitud se aplicó la distancia euclídea al cuadrado.

3.5.3. Selección del número de conglomerados

El análisis de conglomerados permitió identificar que existe variabilidad entre el conjunto de usuarios extranjeros respecto a los nacionales, lo cual ratifica los resultados asociados con el análisis multivariado de la varianza. Debido a que se presentaron diferencias multivariadas entre nacionales y extranjeros se realizó el análisis de clúster de manera independiente. El análisis de clúster jerárquico sugirió un grupo óptimo de 3 conglomerados, que a juicio de los autores son apropiados para los propósitos del estudio (Figura 1).

3.5.4. Análisis de las características de cada conglomerado

Las personas de otras nacionalidades prefieren en primera instancia las rutas cafeteras en las que se destaca su arquitectura y hay presencia de zonas verdes. En segundo lugar, prefieren la presencia de cuerpos de agua y avistamiento de flora y fauna; luego las artesanías y la educación ambiental y, con un peso inverso sobre el factor, las caminatas de campo y la cultura rural. Para las personas nacionales el clúster uno básicamente lo definen casi todas las variables (Tabla 4).

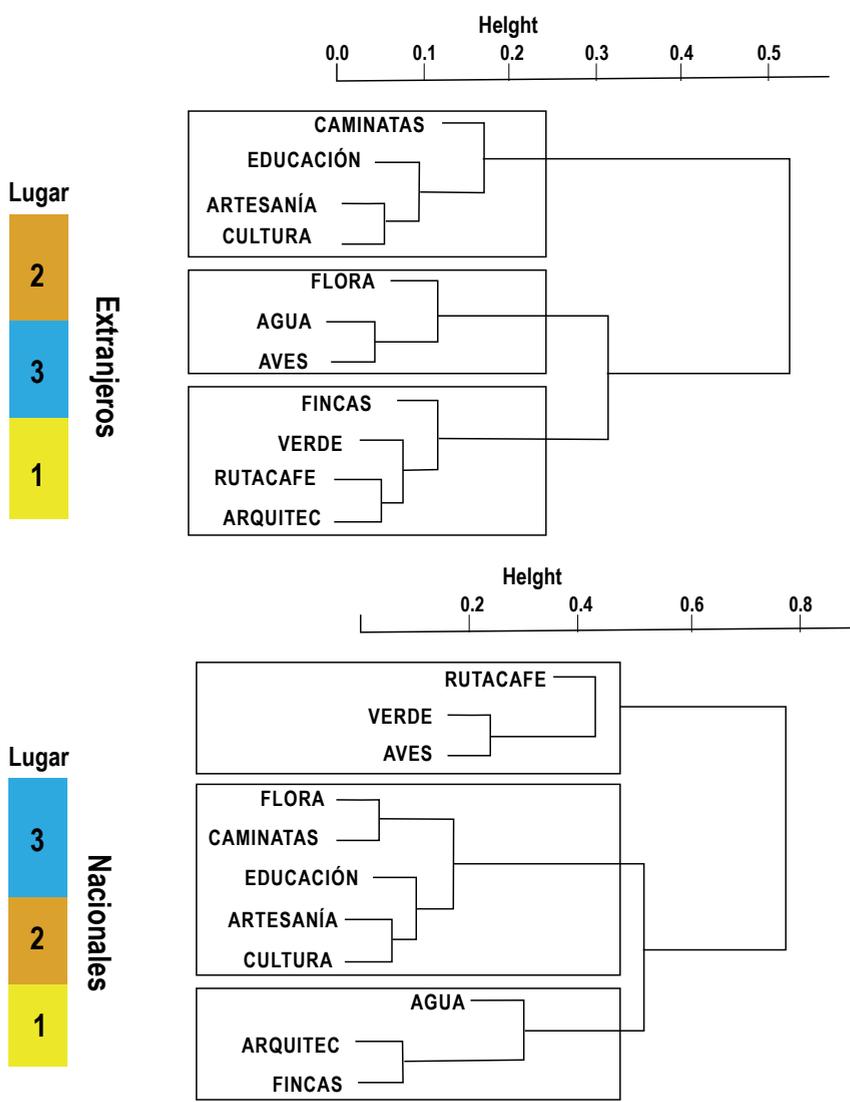


Figura 1. Análisis de clúster por tema

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Preferencias de usuarios por clúster

Variable	Extranjeros			Nacionales		
	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3
Ambiental						
Áreas verdes	0,645	0,431	0,169	0,716	0,285	0,019
Cuerpos agua	0,454	0,697	0,083	0,611	0,479	0,290
Avista. aves	0,455	0,653	-0,026	0,657	0,476	-0,219
Avist. flora	0,498	0,536	0,027	0,676	0,449	-0,305
Artesanías	0,509	-0,371	0,477	0,576	-0,456	-0,357
Ed. ambiental	0,542	-0,255	0,593	0,737	-0,066	-0,289
Rut. cafeteras	0,592	-0,40.1	0,114	0,722	-0,367	0,075
Arquitectura	0,627	-0,327	-0,117	0,771	-0,176	0,241
Camin. campo	0,523	0,022	-0,533	0,548	-0,041	0,638
Cultura rural	0,586	-0,307	-0,468	0,733	-0,174	0,024
Rutas fincas	0,675	-0,328	-0,228	0,711	-0,353	-0,041
Acumulado	0.313	0,501	0,614	0,465	0,580	0,664

Fuente: elaboración propia

4. Conclusiones

El estudio de los referentes de la literatura sobre análisis de conglomerados permitió proponer una metodología para la toma de decisiones en el sector agropecuario, apoyada en el agrupamiento, utilizando el método de clúster. Esta metodología fue validada para un caso de toma de decisiones sobre servicios agroecoturísticos que se deben ofrecer a los visitantes de un municipio a partir del reconocimiento de sus preferencias, lo cual permitió su clasificación en segmentos de mercado por medio de la identificación de las relaciones entre sus preferencias.

El análisis de clúster es una herramienta útil para la toma de decisiones en procesos de innovación en el sector agroalimentario, por cuanto permite diseñar productos y servicios diferenciados que se ajustan mejor a las necesidades de los usuarios potenciales como en el caso presenta-

do, consumidores de bienes y servicios generados por los productores agropecuarios. En este sentido, la metodología propuesta se constituye en un insumo que puede ser utilizado, por ejemplo, para planificar la política de innovación agropecuaria con base en la segmentación de mercados y la diversificación de productos y servicios de extensión agropecuaria, teniendo en cuenta las necesidades de los productores.

Referencias bibliográficas

- Abdelkawy, R., Turbayev, A. & Soloviev, A. (2020). Evaluation of Relative Efficiency of Alpha Lattice Design and Cluster Analysis of Twenty Spring Triticale Field Experiments. *Indian Journal of Agricultural Research*, 54, 301–307. <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/A-466>
- Abdulrahman, H. & Hameed, L. (2020). The cluster analysis of most important citrus trees in some governorates of Iraq for the year 2019. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8(4), 1999–2006. <https://doi.org/10.21533/PEN.V8I4.1676.G683>
- Akbari, M., Koushki, F.F., Memarian, H., Azamirad, M., Mohammad & Noughani, A. (2020). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(319), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05296-9>
- Al Saad, Z. A. A. & Hamdan, A. N. A. (2020). Evaluation of water treatment plants quality in Basrah Province, by factor and cluster analysis. *Journal of Water and Land Development*, 46(7–9), 10–19. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.134097>
- Amicarelli, V., Tricase, C., Spada, A. & Bux, C. (2021). *Households' Food Waste Behavior at Local Scale: A Cluster Analysis after the COVID-19 Lockdown*. <https://doi.org/10.3390/su13063283>
- Arista-Jalife, A., Calderón-Auza, G., Fierro-Radilla, A. & Nakano, M. (2017). Clasificación de imágenes urbanas aéreas: Comparación entre descriptores de bajo nivel y aprendizaje profundo. *Información Tecnológica*, 28(3), 209–224. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300021>

- Baron, J. N., Aznar, M. N., Monterubbianesi, M. & Martínez-López, B. (2020). Application of network analysis and cluster analysis for better prevention and control of swine diseases in Argentina. *PLoS ONE*, 15(6), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234489>
- Butler, B. M., Palarea-Albaladejo, J., Shepherd, K. D., Nyambura, K. M., Towett, E. K., Sila, A. M. & Hillier, S. (2020). Mineral–nutrient relationships in African soils assessed using cluster analysis of X-ray powder diffraction patterns and compositional methods. *Geoderma*, 375, 114474. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114474>
- Carpaneto, E., Chicco, G., Napoli, R. & Scutariu, M. (2006). Electricity customer classification using frequency-domain load pattern data. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 28(1), 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2005.08.017>
- Čelakovská, J., Bukač, J., Vaňková, R., Cermakova, E., Krcmova, I., Krejsek, J. & Andrýs, C. (2020). Cluster analysis of molecular components in 100 patients suffering from atopic dermatitis according to the ISAC Multiplex testing. <https://doi.org/10.1080/09540105.2020.1776224>
- Chayathatto, Mada Na Krom Woradech, A. & Abdul, R. (2020). Using Cluster Analysis to Understand the Value Proposition in Digital Business to Develop Digital Marketing for Agricultural Community Enterprise in Thailand. *Solid State Technology*, 63(6). <http://solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/3923>
- Chong, F., O'Sullivan, M., Kerry, J., Moloney, A., Methven, L., Gordon, A., Hagan, T. & Farmer, L. (2020). Understanding consumer liking of beef using hierarchical cluster analysis and external preference mapping. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.10032>
- de la Fuente, S. (2011). *Análisis de conglomerados*. Universidad Autónoma de Madrid. http://www.estadistica.net/Master-Econometria/Analisis_Cluster.pdf
- de la Hoz, E., Mendoza, A. & Ojeda, H. (2017). Clasificación de perfiles de lectores de un periódico digital. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 469–478. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-udca-actualidad-divulgacion-cientifica/articulo/clasificacion-de-perfiles-de-lectores-de-un-periodico-digital>

- de la Hoz, E. & Polo, L. L. (2017). Aplicación de Técnicas de Análisis de Conglomerados y Redes Neuronales Artificiales en la Evaluación del Potencial Exportador de una Empresa. *Informacion Tecnologica*, 28(4), 67–74. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400009>
- di Vita, G., Zanchini, R., Falcone, G., D'Amico, M., Brun, F. & Gulisano, G. (2021). Local, organic or protected? Detecting the role of different quality signals among Italian olive oil consumers through a hierarchical cluster analysis. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125795. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125795>
- Escalera-Antezana, J. P., Rodriguez-Villena, O. J., Arancibia-Alba, A. W., Alvarado-Arnez, L. E., Bonilla-Aldana, D. K. & Rodríguez-Morales, A. J. (2020). Clinical features of fatal cases of Chapare virus hemorrhagic fever originating from rural La Paz, Bolivia, 2019: A cluster analysis. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 36, 101589. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101589>
- Fatih, A., Celik, S., Eyduran, E., Tirink, C., Tariq, M. M., Shahzad Sheikh, I., Faraz, A. & Waheed, A. (2021). Use of MARS algorithm for predicting mature weight of different camel (*Camelus dromedarius*) breeds reared in Pakistan and morphological characterization via cluster analysis. *Tropical Animal Health and Production*, 53(191), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02633-2>
- Fontalvo-Herrera, T. J., Delahoz, E. J. & Mendoza-Mendoza, A. A. (2018). Application of data mining for the classification of university programs of industrial engineering accredited in high quality in Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(3), 89–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300089>
- Gavioli, A., de Souza, E. G., Bazzi, C. L., Schenatto, K., & Betzek, N. M. (2019). Identification of management zones in precision agriculture: An evaluation of alternative cluster analysis methods. *Biosystems Engineering*, 181, 86–102. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.019>
- Gyimah, R. A. A., Gyamfi, C., Anornu, G. K., Karikari, A. Y. & Tsyawo, F. W. (2021). Multivariate statistical analysis of water quality of the Densu River, Ghana. In *International Journal of River Basin Management* (Vol. 19, Issue 2, pp. 189–199). <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1803337>

- Hennig, C. (2015). Clustering strategy and method selection. *Handbook of Cluster Analysis*, 703–730. <https://doi.org/10.1201/b19706>
- Hloušková, Z. & Lekešová, M. (2020). Farm outcomes based on cluster analysis of compound farm evaluation. *Agricultural Economics (Czech Republic)*, 66(10), 435–443. <https://doi.org/10.17221/273/2020-AGRICECON>
- Islam, S., Anothai, J., Nualsri, C. & Soonsuwon, W. (2020). Genetic Variability and Cluster Analysis for Phenological Traits of Thai Indigenous Upland Rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, 54(2), 211–216.
- Knijnenburg, B. P., Willemsen, M.C., Willemsen, C., Gantner, Z., Soncu, H., Newell, C., Knijnenburg, B. P., Willemsen, · M C, Gantner, Z., Soncu, H. & Newell, C. (2012). *Explaining the user experience of recommender systems*. 22, 441–504. <https://doi.org/10.1007/s11257-011-9118-4>
- Konkina, V. & Martynushkin, A. (2020). Analysis of Import Substitution Processes in the Milk and Dairy Products Market Using Cluster Analysis. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 11(10), 1–10. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.195>
- Krippendorff, K. (2004). Reliability in content analysis: Some common misconceptions and recommendations. *Human Communication Research*, 30, 411–433.
- Lamnek, S. (2005). *Qualitative social research*. Holz.
- Maione, C., Nelson, D. R. & Barbosa, R. M. (2019). Research on social data by means of cluster analysis. *Applied Computing and Informatics*, 15(2), 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.02.003>
- Marino, S. & Alvino, A. (2018). Detection of homogeneous wheat areas using multi-temporal UAS images and ground truth data analyzed by cluster analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 266–275. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1422280>
- Meschede, H., Esparcia, E. A., Holzapfel, P., Bertheau, P., Ang, R. C., Blanco, A. C. & Ocon, J. D. (2019). On the transferability of smart energy systems on off-grid islands using cluster analysis – A case study for the Philippine archipelago. *Applied Energy*, 251, 113290. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.093>

- Molina, O. M. (2007). La segmentación de la demanda turística española. *Metodología de Encuestas*, 7, 57–92. <http://casus.usal.es/pkp/index.php/MdE/article/view/981>
- Opach, T., Scherzer, S., Lujala, P. & Rød, J. K. (2020). Seeking commonalities of community resilience to natural hazards: A cluster analysis approach. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 74(3), 181–199. <https://doi.org/10.1080/00291951.2020.1753236>
- Poudel, A., Thapa, D. B. & Sapkota, M. (2017). Cluster Analysis of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Based Upon Response to Terminal Heat Stress. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 5(2), 188–193. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v5i2.17614>
- Rodríguez, H., Ramírez, C. J. & Restrepo, L. F. (2018). Factores Determinantes de la Sostenibilidad de las Agroempresas Asociativas Rurales. *Revista Economía e Sociología Rural*, 56(1), 107–122. <http://www.scielo.br/pdf/resr/v56n1/1806-9479-resr-56-01-107.pdf>
- Seaton, F. M., Barrett, G., Burden, A., Creer, S., Fitos, E., Garbutt, A., Griffiths, R. I., Henrys, P., Jones, D. L., Keenan, P., Keith, A., Lebron, I., Maskell, L., Pereira, M.G., Reinsch, S., Smart, S. M., Williams, B., Emmett, B. A. & Robinson, D. A. (2020). *Soil health cluster analysis based on national monitoring of soil indicators*. <https://doi.org/10.1111/ejss.12958>
- Silva, L., Aceval, N., Lemos, L., Faqueti, L., Sandjo, L., Salles, C., Weber, M., Barcelos-Oliveira, J. & Dias, R. (2020). Phytochemical profile of different anatomical parts of jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen): A comparison between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. *Food Chemistry*, 332, 127393. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127393>
- Tkachev I, S., Berdnova V, E., Rubtsova, S. N., Pakhomova, T. V., Lazhauninkas, J. V. & Sleptsova, L. A. (2020). Economic Mathematical Modeling of Agrarian Industry Development by Cluster Analysis. *Turismo-Estudos E Praticas*, 1, 1–13.
- Tleis, M., Callieris, R. & Roma, R. (2017). Segmenting the organic food market in Lebanon: an application of k-means cluster analysis. *British Food Journal*, 119(7), 1423–1441. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2016-0354>

- Torrado, R. & Sili, M. (2020). Toma de decisiones y gestión productiva en el sector agropecuario del Noreste de La Pampa (Argentina). *Revista de Economía e Sociología Rural*, 58(2), 1–19. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.198357>
- Wang, S., Liu, H., Pu, H. & Yang, H. (2020). Spatial disparity and hierarchical cluster analysis of final energy consumption in China. *Energy*, 197, 117195. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117195>
- Ye, Q., Zhang, Z. & Law, R. (2009). Sentiment classification of online reviews to travel destinations by supervised machine learning approaches. *Expert Systems with Applications*, 36(3 PART 2), 6527–6535. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.035>



Capítulo 6.

El retorno social de la inversión (SROI) en los Laboratorios Territoriales de Necoclí y Caucaasia*

Vanessa Aguilar Marín

Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia

Carmen Milena Guacaneme Barrera

Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia

Holmes Rodríguez-Espinosa

Ing. Agric, MSc, PhD, Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA)

Mario Fernando Cerón-Muñoz

Zoot, MSc, Dr, Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA).

* Estudio cualitativo y cuantitativo del valor social del proyecto “Laboratorios Territoriales de cacao de la Universidad de Antioquia”. Esta publicación contó con el apoyo del Cedait –Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico de Innovación e Integración Territorial–, El Carmen de Viboral, Antioquia, Occidente, subproyecto Implementación de los Laboratorios Territoriales en las subregiones del Bajo Cauca, Suroeste, Occidente y Urabá, liderado por la Universidad de Antioquia y la Universidad Católica de Oriente con recursos del Sistema General de Regalías y la Gobernación de Antioquia.

Resumen

Los debates recientes sobre programas de extensión rural sugieren orientar sus análisis hacia un enfoque holístico que integre los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, a partir de indicadores que permitan medir y comprender su impacto. En el contexto colombiano se identifica una escasez de estos ejercicios, por lo que los Laboratorios Territoriales de la Universidad de Antioquia, desarrollados con familias productoras de cacao de los municipios de Necoclí y Cauca, tuvieron como propósito evaluar el impacto de sus estrategias ajustando la metodología del retorno social de la inversión (SROI) que permite identificar la cantidad de impacto generado por cada peso invertido. Se analizaron dos actividades, se definió su inversión, se identificaron y monetizaron los cambios y se calcularon los SROI. Se obtuvo un SROI para las parcelas demostrativas de 2,42 y un SROI de acompañamiento técnico de 3,82. Se concluye que los proyectos con el enfoque de los Laboratorios Territoriales constituyen una alternativa adecuada para la extensión rural, al generar un impacto positivo en los territorios que es mayor a la inversión que se requiere.

Palabras clave: *evaluación del impacto, extensión rural, innovación social*

I. Introducción

Los programas de extensión tuvieron sus inicios en las universidades de Estados Unidos e Inglaterra al buscar fortalecer los vínculos con la sociedad desde la educación para personas adultas, la transferencia de tecnología y los servicios de asesoría (Percy, 1999). Las primeras iniciativas de extensión rural en Estados Unidos se basaron en un modelo transferencista o difusionista que llevaba consigo un principio filosófico de

modernización del campo a través de la lógica del capital, entendiendo esta como la única vía posible de desarrollo. Este modelo fue exportado a los países latinoamericanos a mitad del siglo XX y, si bien actualmente el enfoque de la extensión está orientado hacia el diálogo de saberes y el desarrollo de capacidades, aún se conserva en algunos programas el interés por el desarrollo tecnológico para el cumplimiento de objetivos exclusivamente económicos, lo que implica el diseño de estrategias estandarizadas en las que predomina el conocimiento científico sobre el empírico y en las que se construye una relación unidireccional en la que los campesinos son sujetos pasivos en la recepción de tecnologías (Landini, 2016; Sotomayor et al., 2011).

En los años 70 surgió en América Latina un modelo alternativo de extensión rural dialógica que buscaba romper con las ideas hegemónicas de la extensión y promover un intercambio horizontal de conocimientos entre extensionistas y población rural (Freire, 1973). Este modelo alternativo tuvo un vínculo con el modelo reflexivo de transferencia de tecnología aplicado en América Latina desde el año 2000, el cual estaba estructurado a partir de un enfoque holístico que agrupa la calidad, la responsabilidad social y el desarrollo sostenible (Sotomayor et al., 2011).

La transformación en la extensión rural estuvo sintonizada con los cambios experimentados en la gestión de la tecnología y la innovación en América Latina, en los que se planearon nuevas discusiones sobre los efectos de las políticas de ciencia e innovación en el bienestar y calidad de vida de las personas. Como resultado, se impulsó la incorporación en estas políticas del enfoque del desarrollo sostenible, que incluye aspectos sociales, económicos y ambientales (Guisado et al., 2010).

En el contexto colombiano surgió el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) (Ley 1876, 2017). Este Sistema buscó enlazarse a las

nuevas iniciativas latinoamericanas con el propósito de subsanar algunas de las deficiencias de las políticas agrarias y del sistema colombiano de innovación, que pueden relacionarse con la aplicación de un modelo transferencista de extensión; con la desarticulación de las entidades públicas y privadas; con la baja financiación en investigación y desarrollo (Proyecto de ley por medio del cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones, 2017; Agencia de Desarrollo Rural de Colombia, 2018) y con las dificultades de adopción de tecnologías en los productores causadas por problemáticas estructurales del campo colombiano y por el desconocimiento de las dinámicas territoriales y de la producción a pequeña escala (OCDE, 2015).

De manera simultánea, los ejercicios de evaluación de impacto de los programas de extensión rural han atravesado modificaciones que están relacionadas directamente con la forma en la que es concebida la extensión. Por ello, en su guía para evaluar la extensión rural, Christoplos et al. (2012) plantearon la necesidad de una evaluación de impacto que no se enfoque exclusivamente en el aumento de la producción y que se oriente hacia el análisis del comportamiento, la actitud, el aprendizaje y la capacidad de respuesta en un mundo volátil determinado por el cambio climático, el mercado, la política, entre otros.

En Colombia, y de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se identifica una escasa evidencia de estudios que realicen evaluaciones de impacto a los programas de extensión rural. De forma general, Rodríguez-Espinosa et al. (2016) plantearon que en el país las instituciones encargadas de realizar seguimiento y evaluación al servicio de asistencia técnica son el Ministerio y las Secretarías de Agricultura y Desarrollo Rural, e indicaron que la legislación colombiana ha establecido los siguientes criterios de evaluación y seguimiento a partir del Decreto 3199 del 27 de diciembre de 2002:

Reducción de la pobreza rural, mejoramiento del bienestar de las comunidades rurales, conocimiento y uso oportuno de los instrumentos de política por parte de los grupos de pequeños y medianos productores rurales, desarrollo de actividades y empresas competitivas, reconversión de procesos productivos, apropiación de nuevos conocimientos por parte de los productores, pertinencia de los enfoques y principios de las metodologías y métodos utilizados para prestar el servicio. (p. 482)

Lo anterior se relaciona con los postulados contenidos en el SNIA (Ley 1876, 2017), concretamente en el Subsistema Nacional de Extensión Agropecuaria. En este se planteó que el seguimiento y evaluación a los programas de extensión rural debe estar alineado con las recomendaciones que realice el Consejo Superior del SNIA y que estas sugerencias deben ser implementadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Agencia de Desarrollo Rural y las Secretarías de Agricultura y Desarrollo Rural, teniendo presente que el objetivo central de SNIA es “lograr que las acciones de investigación, desarrollo tecnológico, transferencia de tecnología, gestión del conocimiento, formación, capacitación y extensión soporten efectivamente los procesos de innovación requeridos para mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad del sector agropecuario colombiano” (Ley 1876, 2017, p. 1). Esto, desde a) el enfoque territorial que defiende la diversidad biológica, geográfica, social, económica, étnica y cultural; b) el enfoque diferencial en cuanto edad, género, etnia, situación de discapacidad e ingreso, entre otras; c) el enfoque de asociatividad, el desarrollo integral con sostenibilidad económica, ambiental, cultural y social y d) el fortalecimiento de procesos donde los productores agropecuarios se constituyan como agentes propositivos en los procesos de investigación.

En este contexto surgen los Laboratorios Territoriales (LT) de la Universidad de Antioquia como una apuesta de innovación social del Grupo de

Investigación Agrociencias, Biodiversidad y Territorio –Gamma –, la cual se encuentra vinculada al Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico de Innovación e Integración Territorial (Cedait). Su objetivo es contribuir a la calidad de vida de familias campesinas mediante el establecimiento de vitrinas demostrativas, la implementación de acompañamientos personalizados, la creación de Redes de intercambio de conocimiento entre agricultores (Ricas), el desarrollo de capacitaciones, de Sistemas experienciales de producción agropecuaria (Sepas) y de giras técnicas.

Desde su ejercicio de innovación social, los LT participan en los debates actuales de este concepto, el cual ha sido empleado desde el siglo XIX y recientemente se ha incorporado a propuestas que buscan comprender y hacer frente a los vacíos de las teorías economicistas y tecnocráticas que han ignorado aspectos como la cohesión social y territorial. Este concepto se constituye como un fenómeno en auge que se refiere “a la satisfacción de necesidades humanas o sociales emergentes o que no están siendo atendidas, ya sea por escasez de recursos, por oportunidad política o porque no sean percibidas como importantes para el sector privado o el sector público” (Arenilla & García, 2013, p. 24).

Las prácticas innovadoras se configuran dentro de un proceso histórico que recoge pequeñas experiencias de cambio de personas organizadas en empresas, instituciones, comunidades u otros organismos (Hernández-Ascanio et al., 2016). Para Rodríguez & Alvarado (2008), las personas que han vivenciado la marginalización estructural se han constituido como sujetos de la innovación, ya que “en muchos casos, para superar la condición de exclusión, es necesario que la persona sea sujeto activo de su propia transformación, [y] de la lucha por su desarrollo autónomo” (p. 25).

Por otra parte, el término de impacto fue empleado inicialmente para identificar los cambios en el ambiente a partir de determinadas accio-

nes humanas. El campo de análisis se ha extendido hacia ámbitos como la información, los entornos organizacionales y las mediciones de impacto social. Generalmente este término se aborda a partir de una relación de causa y efecto en el ambiente, en un proceso, en un producto o en un grupo poblacional determinado (Libera, 2007). En las discusiones sobre ciencia, tecnología e innovación, el concepto de impacto ha sobresalido como una unidad evaluativa que incorpora los efectos en la sociedad de la I+D, lo cual permite identificar cambios positivos o negativos en grupos sociales determinados o en la sociedad en su conjunto (Guisado et al., 2010).

El concepto de evaluación de impacto tuvo un origen similar en la década de los 60, partiendo de la exigencia en algunos países por evaluaciones de impacto ambiental que permitieran dar respuesta a las demandas de grupos ambientalistas que solicitaban estudios en los que pudiera identificarse la huella ecológica del ser humano. Estos análisis se fueron haciendo más robustos y se incorporaron las evaluaciones de impacto social junto con las evaluaciones de los efectos positivos y negativos y los cambios no previstos en la ejecución de proyectos o programas (Libera, 2007). Para Navarro (2005), la evaluación de impacto es fundamental en la administración pública, pues permite aumentar la productividad del gasto del Estado al identificar resultados y analizar efectos. La evaluación de impacto de la ciencia y la tecnología en particular presenta retos respecto a su alcance y complejidad:

La ciencia y la tecnología impactan en dimensiones sociales muy variadas: en la propia ciencia o en el conocimiento, la economía, la política, la comunidad (en términos de sociedad civil), los diversos dominios institucionales (salud, educación, bienestar y seguridad social, ley); la cultura y los valores, [el] medio ambiente, [la] generación de empleo, etcétera. (Guisado et al., 2010, p. 167)

Para este estudio se adaptó la metodología del retorno social de la inversión (SROI) para la evaluación de impacto de los LT realizados con

familias productoras de cacao de los municipios de Necoclí y Caucaasia en el departamento de Antioquia. Esta metodología se basa en la teoría del cambio (Amaro, 2014) que “fue desarrollada originalmente como una herramienta para apoyar la planificación y la evaluación de intervenciones comunitarias y tiene como objetivo identificar los mecanismos implícitos a través de los que se espera lograr el cambio” (Cassetti & Paredes-Carbonell, 2020, p. 306).

La teoría se aplica con una representación visual que permite esquematizar el funcionamiento de un programa de intervención al resaltar sus componentes y elementos vinculados por medio de los objetivos, resultados esperados y acciones desarrolladas. Monje (2017) afirmó que la teoría del cambio es un “enfoque teórico crítico trabajado desde una perspectiva de pensamiento y acción, aplicado en procesos estratégicos de cambio social significativo emprendidos en contextos inciertos, complejos o emergentes” (p. 3). Al emplear este enfoque no solo se indaga por el “qué” y el “cómo”, sino por el “por qué” de la intervención (Monje, 2017). Para Rogers (2014), la teoría “puede elaborarse para cualquier nivel de intervención, ya sea que se trate de un acontecimiento, un proyecto, un programa, una política, una estrategia o una organización” (p. 1). La teoría del cambio alberga una estructura lógica, analítica y sistémica en la que la intervención es asumida como un todo integrado por actores y sus entornos. Esta teoría también se conoce como ruta de cambio, motor de cambio, modelo de cambio o teoría de acción (Monje, 2017).

El SROI fue creado en 1996 y desde el 2004 la fundación New Economics ha desarrollado guías para su aplicabilidad en diversos contextos (Nicholls, 2016). El SROI es un método (Arvizu & Borbón, 2017) o a una metodología de investigación (Amaro, 2014; Zamudio, 2017; Aguilar-Agudo et al., 2019; Molina & Quintero, 2019) que “hace referencia prin-

cialmente al valor social percibido y no tanto al valor económico” (de la Pedrosa de Mata, 2019, p. 27). Este índice cuenta con reconocimiento internacional para la medición del impacto social (Foro de Innovación Social, 2013) al permitir integrar la creación de valor social y económico bajo el principio de monetización, que consiste en la asignación de valores monetarios a los cambios identificados por medio de variables tipo proxy. El índice se formula como un coeficiente en donde el numerador representa todos los cambios monetizados y el denominador agrupa el total de la inversión realizada, permitiendo identificar la cantidad de impacto generado por cada unidad monetaria invertida.

Se aclara que el dinero no es el fin sino el medio para establecer una unidad común de análisis y que

Para determinar la cifra del proxy existen dos alternativas: a) tangibles: son valores obtenidos a partir de los precios de bienes y servicios presentes en el mercado [e] b) intangibles: se aplica la técnica de preferencia declarada, a la cual se recurre en ausencia de referencia de precios de mercado. (Serna & González, 2018, p. 61)

Dentro de las alternativas tangibles se encuentra el enfoque basado en costos, que agrupa asignaciones de costos de reemplazo, costos de oportunidad, ahorros de costos, costos de daños evitados; así como el método de costos de viaje, que permite identificar los costos en los que incurre una persona para lograr un cambio (SVI, 2019). Dentro de las alternativas intangibles está el método de valoración contingente, el cual admite la construcción de precios desde una simulación de mercados en donde se reconoce la disposición a pagar por determinada mejora o la disposición a recibir pagos por aceptar alguna situación desfavorable en la vida cotidiana (Osorio, 2017). También es posible aplicar experimentos de elección, que contribuyen a inferir precios a partir de la valoración monetaria de diferentes escenarios, o los juegos de subasta

en donde los diferentes participantes ofertan precios. Como alternativa adicional se encuentra la valoración del bienestar, que se desarrolla indicando la proporción de ingresos necesarios para aumentar el bienestar a partir de determinada variable de estudio (SVI, 2019).

En la construcción del SROI se tienen en cuenta: “a) experiencias, b) información cualitativa, c) información cuantitativa, [y] d) información financiera sobre los cambios ocurridos” (de la Pedrosa de Mata, 2019, p. 27). Este índice es una herramienta que tiene incidencia sobre la cultura de la inversión (de la Pedrosa de Mata, 2019), al facilitar los debates estratégicos, y puede emplearse para análisis evaluativos, de pronóstico o mixtos (Nicholls et al., 2012). Los conceptos generales de esta metodología se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Conceptos generales de la metodología del Retorno Social de la Inversión

Concepto	Definición
Insumos	Representan los recursos necesarios para realizar las actividades (capacitaciones, talleres o diversas estrategias de intervención).
Resultados	Es el indicador generado con su respectiva unidad de medida, por ejemplo, la cantidad de personas capacitadas.
Cambios	Identificación de mejoras, medidas en aumentos o reducciones de indicadores, por ejemplo, la adquisición de nuevos conocimientos o desarrollo de nuevas prácticas.
Peso muerto (<i>pm</i>)	Factor de corrección que expresa la cantidad de cada cambio que ocurre independientemente de la realización del proyecto.
Desplazamiento (<i>dz</i>)	Factor de corrección que representa los efectos negativos que genera un cambio sobre otra práctica, persona o comunidad.
Atribución (<i>ab</i>)	Factor de corrección que expresa la cantidad de cada cambio que no es atribuido al proyecto, debido a la presencia de otras organizaciones con incidencia en la comunidad.
Tasa anual de decremento (<i>dc</i>)	Indica la disminución anual de los cambios en el tiempo.

Fuente: adaptado de Nicholls et al. (2012)

En la literatura reciente se encuentran diversos estudios que han basado su análisis de medición de impacto social en el SROI, combinando técnicas de investigación cualitativas y cuantitativas representadas en entrevistas semiestructuradas, encuestas, grupos focales y revisión documental.

Amaro (2014) realizó su investigación titulada “Metodología SROI: aplicación de las primeras fases al proyecto de fortalecimiento de la cooperativa de catadores Coocamarji (Brasil)” y obtuvo como resultado un SROI de 3,01. Arvizu & Borbón (2017) aplicaron el SROI evaluativo en una empresa dedicada a la producción y exportación de hortalizas orgánicas y encontraron un resultado de 3,52. La Fundación Ecología y Desarrollo (Ecodes) (2018) evaluó el impacto de la generación de empleo digno a personas con discapacidad y obtuvo un SROI de 2,54. La Fundación Tomillo (2018) tuvo como propósito cuantificar el impacto social generado por la Fundación Maimona durante el desarrollo de asesorías, capacitaciones y el suministro de un espacio físico a un grupo de emprendedores y tuvo un SROI de 2,48. El trabajo de Serna & González (2018) se desarrolló en el Centro de Investigación Nacional del Café en Colombia (Cenicafé), donde analizaron el proyecto Manos al Agua en la microcuenca Edén-Bareño en Aguadas, Caldas, y obtuvieron un SROI de 5,06.

Por otra parte, la investigación realizada por Molina & Quintero (2019) tuvo como objetivo validar la metodología SROI en el contexto del Grupo Familia en Colombia; para ello, se tomó el acompañamiento desarrollado con la Asociación de Recolectores de Materiales Reciclables de Popayán y se realizó un SROI evaluativo para el año 2017 y un SROI de pronóstico para los años 2018, 2019 y 2020. Los autores encontraron un SROI de 5,04, al que le adicionaron un análisis de sensibilidad que permitió identificar puntos óptimos de SROI teniendo en cuenta la proyección a partir de los cambios en los montos de inversión, la atribución y el valor cuantificado de los impactos. Todas estas investigaciones rea-

lizaron recomendaciones para la planeación, seguimiento y evaluación de los proyectos en sus futuras intervenciones.

Bajo este escenario, los LT tuvieron como propósito implementar la metodología del SROI en la evaluación de impacto de sus diferentes estrategias, con el objetivo de identificar el retorno social y establecer la hoja de ruta de la evaluación del Modelo Antropogógico de Extensión Agropecuaria (Maea) que se construirá por los LT y que será implementado en los próximos proyectos liderados por el Cedait.

2. Materiales y métodos

Se utilizó la información generada entre el 2019 y 2021 a partir del establecimiento de parcelas demostrativas (PD) y el acompañamiento técnico (AT) desarrollado con 42 familias productoras de cacao en los municipios de Necoclí y Cauca del departamento de Antioquia. La actividad de PD contempló la entrega de plántulas, herramientas, insumos y fertilizantes para un área de 0,25 ha, junto con orientaciones en el proceso de trazado, ahoyado y siembra de cacao en asocio con cultivos permanentes y transitorios. El AT estuvo concentrado en el fortalecimiento de conocimientos técnicos sobre los planes de fertilización; las labores culturales de podas, control de arvenses, recaba de canales y manejo de plagas y enfermedades; las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y la productividad del cacao enfocada en el proceso de cosecha y beneficio. Este acompañamiento se realizó de forma personalizada en el predio de cada una de las 42 familias y tuvo un margen de acción sobre PD y sobre los cultivos de cacao que previamente tenían las familias en sus predios.

Se adaptó la metodología del SROI (Nicholls et al., 2012) y se establecieron las siguientes etapas para la evaluación de impacto de los LT:

- **Etapa 1. Definición de actividades:** se definieron las actividades que se iban a incluir dentro de la evaluación de impacto de los LT para construir índices parciales por actividad.
- **Etapa 2. Identificación de la inversión por actividad:** se obtuvo el monto total de la inversión proyectando los gastos hasta el final de la intervención (octubre de 2021), ya que el análisis se realizó durante el periodo de ejecución del proyecto. Se identificaron inversiones realizadas en 2019, 2020 y 2021 y, por ello, fue necesario actualizar a precios de 2021 todos los rubros correspondientes a años previos para unificar los valores monetarios bajo un mismo año. Para esto se emplearon los índices de precios al consumidor (IPC), utilizando para la inversión del 2019 el IPC del 2019 (3,8%) y del 2020 (1,61%) y para la inversión del 2021 el IPC de ese mismo año (1,61%). La inversión total del proyecto se dividió entre todas las actividades que se incluyeron en la evaluación de impacto, orientando la segregación a partir de las fechas de implementación con sus respectivas inversiones y reconociendo las funciones específicas del personal contratado y de los servicios adquiridos para las diferentes estrategias.
- **Etapa 3. Identificación de cambios:** se identificaron los cambios ocurridos en las familias productoras de cacao a partir de las actividades implementadas y mediante los informes de campo proporcionados por las profesionales técnicas que cumplieron el rol de extensionistas rurales.
- **Etapa 4. Monetización de los cambios:** se asignó una valoración monetaria a cada cambio empleando la técnica de ahorro de costos potenciales. Para esto se realizó un reconocimiento de precios de mercado que permitiera cuantificar los cambios por medio de variables tipo proxy. Se tomaron estudios previos que costeaban

algunas actividades relacionadas con las prácticas implementadas por las familias y se rastrearon costos de capacitación en temáticas vinculadas a los nuevos conocimientos adquiridos. Con ambas fuentes de información mercantil se dedujo el ahorro en el que incurrían las familias al alcanzar nuevos saberes y efectuar determinadas acciones. La mayoría de los cambios se produjeron a partir del desarrollo de varias actividades, por lo que sus monetizaciones contaron con varias fuentes de información. Estos valores referenciados en el mercado se adecuaron a las circunstancias particulares del contexto analizado. Se promedió cada monetización según el tamaño de los cultivos, las nuevas construcciones, la cantidad de familias que experimentaron los cambios y el tiempo de acompañamiento por actividad. Todos estos valores se trajeron a valores presentes empleando las variaciones correspondientes del IPC.

- **Etapa 5. Definición de la duración de los cambios y de los factores de corrección:** con encuestas realizadas a dos profesionales técnicas y a la coordinadora de los LT se determinó: la duración de los cambios (*i*), el peso muerto (*pm*), la atribución (*ab*) y el desplazamiento (*dz*). Estas encuestas se adaptaron a partir de lo realizado por Serna & González (2018) y se obtuvieron resultados individuales que fueron ponderados, asumiendo un 40% para la coordinadora y un 30% para cada profesional. Se consideró un decrecimiento (*dc*) de 0,05 para capacitaciones y de 0,1 para los demás cambios.
- **Etapa 6. Cálculo del SROI:** para cada actividad se desarrollaron cuatro pasos: 1) cuantificación de los cambios, 2) proyección de los impactos según su duración en años, 3) actualización de proyecciones a valores presentes netos y 4) cálculo del coeficiente entre impactos e inversión.

- **Subetapa 6.1. Cuantificación de los cambios por actividad**

Se calculó el impacto para cada cambio j multiplicando la cantidad de familias que lo experimentaron (q_j) por su respectiva monetización (px_j) y restando los factores de corrección pm_j y ab_j :

$$v_j = (q_j \times px_j) \times (1 - pm_j) \times (1 - ab_j)$$

Donde:

v_j = valor monetario del cambio j

q_j = número de familias que experimentan el cambio j , con ≥ 1

px_j = monetización para el cambio j , donde $j \geq 0$

pm_j = factor de corrección de peso muerto para el cambio j , con $0 \leq pm_j \leq 1$

ab_j = factor de corrección de atribución para el cambio j , con $0 \leq ab_j \leq 1$

Para este ejercicio se obtuvo el factor de corrección $dz = 0$, ya que dentro de las encuestas realizadas a la coordinadora del proyecto y a las profesionales técnicas no hubo reportes de cambios que hubiesen generado efectos negativos en otras personas, comunidades o proyectos.

- **Subetapa 6.2. Proyección de los impactos en el tiempo**

Para cada actividad se proyectó el valor monetario de los cambios que tenían una duración esperada superior a un año. Esta proyección se realizó a partir del año 1 y multiplicando el valor monetario del cambio j por dc_j , como se expresa a continuación:

Año 0 (durante la intervención)	Año 1 (después de la intervención)	Año 2...	...Año t
$vp_{j0} = v_j$	$vp_{j1} = v_{j0} \times (1 - dc_j)$	$vp_{j2} = vp_{j1} \times (1 - dc_j) \dots$	$\dots vp_{jt} = vp_{j,t-1} \times (1 - dc_j)$

Donde:

vp_{ji} = valor monetario proyectado del cambio j en el año i

v_j = valor monetario del cambio j

dc_j = tasa de decremento del cambio j , donde $dc_j < 1$

- Subetapa 6.3. Actualización de proyecciones a valores presentes netos*

Los valores proyectados a partir del año 1 se trajeron a valores actuales netos (VAN) tomando como tasa de descuento constante (r) el porcentaje de IPC para el 2021, que correspondió a 2,5%, de acuerdo con las estimaciones realizadas por el Banco de la República (López, 2020) en el momento en el que se desarrolló este ejercicio:

Año 0 (durante la intervención)	Año 1 (después de la intervención)	Año 2...	Año t
$VAN_0 = \sum_1^{j=x} vp_{j0}$	$VAN_1 = \frac{\sum_1^{j=x} vp_{j1}}{(1+r)}$	$VAN_2 = \frac{\sum_1^{j=x} vp_{j2}}{(1+r)}$	$VAN_t = \frac{\sum_1^{j=x} vp_{jt}}{(1+r)}$

Donde:

VAN_i = valor actual neto del año i , donde $i = 0, 1 \dots t$

vp_{ji} = valor proyectado del cambio j en el año i

r = tasa de descuento constante

x = total de cambios en el año i

- Subetapa 6.4. Cálculo del coeficiente entre impactos e inversión*

Para cada actividad se sumaron los valores actuales netos de todos los años y el resultado se dividió por el total de inversión por actividad:

$$SROI = \frac{\sum_0^{i=t} VAN_i}{\text{Valor total de la inversión}}$$

Donde:

VAN_i = valor actual neto para el año i

El SROI se obtuvo para cada actividad ($SROI_{PD}$ y $SROI_{AT}$) y se calculó el periodo de retorno de la inversión mediante:

$$\text{Periodo de retorno (en meses)} = \frac{\text{Valor total de la inversión}}{(\sum_0^{i=t} VAN_i) \div (12 \text{ meses} \times t)}$$

3. Resultados y discusión

Para las actividades de PD y AT se estimó una inversión (I_{PD} e I_{AT}) de \$340.526.289 y \$232.138.713, respectivamente. Para la primera actividad se identificaron y monetizaron tres cambios. El cambio pd_3 tuvo la mayor valoración monetaria (Tabla 2).

Tabla 2. Identificación de cambios ocurridos en PD con su respectiva monetización obtenida a partir de la técnica de ahorro de costos potenciales

Cambio	Monetización	Fuente
Suministro de capital: plántulas, herramientas, insumos y fertilizantes (PD_1)	\$3.305.490	Total de materiales, insumos, documentación y servicios tecnológicos: \$138.830.567 (facturación proveedores LT, 2019, 2020, 2021).
Nuevos conocimientos: trazado, ahoyado y siembra (PD_2)	\$182.256	Asesoría técnica = 1.5 unidades, Costo: \$121.504 (Fedecacao et al., 2015).
Proyección de ingresos por 20 años: cultivo de cacao en asocio con sus cultivos permanentes y transitorios* (PD_3)	\$68.735.350** ± 26.519.374	Ingresos proyectados en un área de 0,25 ha con un rendimiento máximo de 1.500 kg/año: \$82.392.965 (Fedecacao et al., 2015), rendimiento promedio de clones suministrados por los LT: $1.251 \pm 483^{***}$.

* Ciclo productivo del cultivo de cacao en asocio con cultivo transitorio de plátano y cultivo permanente de cedro rosado: 20 años.

** Esta monetización corresponde a una proyección por 20 años. Para los cálculos posteriores se dividió entre el total de años que conformaron el periodo de análisis: $\$13.747.070 \pm 5.303.875$.

*** Varía de acuerdo con la especie del clon.

Fuente: elaboración propia

Para la actividad de AT se identificaron y monetizaron 18 cambios. AT_{18} fue el cambio con una mayor valoración monetaria, seguido por AT_8 , AT_6 y AT_{15} (Tabla 3).

Tabla 3. Identificación de cambios ocurridos en AT con su respectiva monetización obtenida a partir de la técnica de ahorro de costos potenciales

Cambio	Monetización	Fuente
Fertilización esporádica (AT ₁)	\$419.711 ± 44.437	Análisis de suelos: \$264.900 (facturación proveedores LT, 2019, 2020, 2021), costo promedio de jornales para la fertilización esporádica: \$154.811 ± 44.437* (Fedecacao et al., 2015).
Fertilización programada con periodicidad y cantidades aceptables (AT ₂)	\$1.010.188 ± 340.354	Análisis de suelos: \$264.900 (facturación proveedores LT, 2019, 2020, 2021), costo promedio de dos ciclos de jornales para fertilización programada: \$642.374 ± 324.891* (Fedecacao et al., 2015), costo promedio de capacitación en fertilización: \$102.914 ± 20.424** (Asociación de Egresados de Ciencias Agrarias UNAL Medellín, 2016).
Intención de construir un plan de fertilización basado en el análisis de suelos (AT ₃)	\$1.228.323 ± 312.489	Análisis de suelos: \$264.900 (facturación proveedores LT, 2019, 2020, 2021), costo promedio de dos ciclos de jornales para fertilización programada: \$544.830 ± 346.127* (Fedecacao et al., 2015), costo promedio de capacitación en fertilización: \$146.530 ± 62.140** (Asociación de Egresados de Ciencias Agrarias UNAL Medellín, 2016), costo de seminario sobre interpretación de análisis de suelos: \$272.063 (Biofertilizar SAS, 2018).
Manejo de plagas y enfermedades (AT ₄)	\$115.173 ± 29.543	Jornal: \$44.765 (Fedecacao et al., 2015), costo promedio de capacitación en manejo de plagas y enfermedades: \$70.408 ± 29.543** (Universidad Nacional de Colombia, 2021).

Cambio	Monetización	Fuente
Podas, control de arvenses y recaba de canales*** (AT ₅)	\$1.222.985 ± 842.569	Costo promedio de jornales para podas, control de arvenses y recaba de canales: \$1.175.074 ± 851.584* (Fedecacao et al., 2015), costo promedio de capacitación en podas: \$37.264 ± 13.309** y costo de una hora de refuerzo en capacitación para el manejo adecuado de herramientas: \$10.647 (Fundación Caja de Burgos, 2021).
Podas con aplicación de cicatrizante, control de arvenses y recaba de canales**** (AT ₆)	\$1.674.849 ± 1.039.923	Costo promedio de jornales para podas, control de arvenses y recaba de canales: \$1.625.163 ± 1.043.703* (Fedecacao et al., 2015), costo promedio de capacitación en podas: \$28.392 ± 10.948** y costo de dos horas de refuerzo en capacitación para el manejo adecuado de herramientas y aplicación de cicatrizante: \$21.294 (Fundación Caja de Burgos, 2021).
Implementación de 2 (M _e) BPA de criterio fundamental (AT ₇)	\$497.143***** ± 234.503	Costo de implementar una BPA de criterio fundamental: \$200.000 (López, 2016).
Implementación de 10 (M _e) BPA de criterio mayor (AT ₈)	\$1.804.167***** ± 355.270	Costo de implementar una BPA de criterio mayor: \$175.000 (López, 2016).
Implementación de 2 (M _e) BPA de criterio menor (AT ₉)	\$374.400***** ± 204.452	Costo de implementar una BPA de criterio menor: \$156.000 (López, 2016).

Cambio	Monetización	Fuente
Conocimiento y práctica de la cosecha y beneficio de cacao (AT ₁₀)	\$38.257 ± 8.808	Horas promedio de capacitación en cosecha y beneficio: 3,87 ± 0,9**, costo de una hora de capacitación en cosecha y beneficio: \$9.888 (Universidad Antonio Nariño, 2019)
Conocimiento y práctica de la injertación de cacao (AT ₁₁)	\$18.630 ± 8.574	Horas promedio de capacitación en injertación: 5,18 ± 2,38**, costo de una hora de capacitación en injertación: \$3.597 (Agrolanzarote, 2021).
Identificación de clones de cacao (AT ₁₂)	\$48.562 ± 10.525	Horas promedio de capacitación en identificación de clones: 3,2 ± 0,7**, costo de una hora de asesoría técnica: \$15.188 (Fedecacao et al., 2015)
Construcción de viveros (AT ₁₃)	\$165.974 ± 227.139	Costo de un vivero por plántula: \$307 (Bernal,2007), número promedio de plántulas: 349,2 ± 743, horas promedio de capacitación en construcción de viveros: 3,85 ± 1,07**, costo de una hora de asesoría técnica: \$15.188 (Fedecacao et al., 2015)
Construcción de cajones fermentadores (AT ₁₄)	\$958.273 ± 437.266	Costo promedio de construir un cajón fermentador: \$897.521 ± 437.266* (Villalba & Pabón, 2016), horas de capacitación en construcción de cajones fermentadores: 4, costo de una hora de asesoría técnica: \$15.188 (Fedecacao et al., 2015).
Construcción de marquesinas (AT ₁₅)	\$1.285.625 ± 319.155	Costo promedio de construir una marquesina: \$1.224.873 ± 319.155* (Villalba & Pabón, 2016), horas de capacitación en construcción de marquesinas: 4, costo de una hora de asesoría técnica: \$15.188 (Fedecacao et al., 2015).

Cambio	Monetización	Fuente
Construcción de secaderos (AT ₁₆)	\$162.144 ± 118.585	Costo promedio de construir un secadero: \$131.768 ± 118.585* (Villalba & Pabón, 2016), horas de capacitación en construcción de secaderos: 2, costo de una hora de asesoría técnica: \$15.188 (Fedecacao et al., 2015).
Construcción de mazos para el corte de mazorcas de cacao (AT ₁₇)	\$182.012	Costo de un mazo: \$166.824 (MercadoLibre Colombia, 2021), horas de capacitación en construcción de mazos: 1, costo de una hora de asesoría técnica: \$15.188 (Fedecacao et al., 2015).
Aumento de la producción de cacao (247 ± 328 kg/ha/año) (AT ₁₈) *****	\$1.837.145 ± 2.498.261	Precio promedio de venta del cacao en Necoclí en diciembre 2021: \$7.390 ± 235.

*Varía según el tamaño de los cultivos y la cantidad de familias que experimentan el cambio.

**Varía según la cantidad de horas de acompañamiento técnico y la cantidad de familias que experimentan el cambio.

***2 ciclos/año de podas con herramientas adecuadas, 4 ciclos/año de control arvenses y 1 ciclo/año de recaba de canales con palín.

****2 ciclos/año de podas con herramientas adecuadas y aplicación esporádica de cicatrizante, 5 ciclos/año de control arvenses y 2 ciclo/año de recaba de canales con palín.

*****Varía de acuerdo con la cantidad de familias y de prácticas implementadas.

*****Correspondiente a los cultivos previamente establecidos por las familias en sus predios.

Fuente: elaboración propia

Para todos los cambios de PD y AT se obtuvieron los *pm* de 0,39 y 0,15 y las *ab* de 0,56 y 0,185, respectivamente. La *q_j* varió según las prácticas y conocimientos adquiridos por cada una. Se estimó para la mayoría de los cambios una *i* de cinco años. Aquellos cambios con una *i* de dos años están relacionados con actividades basadas en los análisis de suelos, cuya vigencia no supera este periodo de tiempo. Para los cambios AT₂

y AT_3 se ponderó dc , ya que fueron cambios que incluyeron actividades con decrementos de 0,05 y del 0,10 (Tabla 4). El VAN para PD en el año cero fue de \$194.284.635 y para AT fue de \$222.969.930, lo que indicó que la suma de monetizaciones de los tres cambios de PD fue muy cercana a la suma de monetizaciones de los 18 cambios de AT:

Tabla 4. Datos complementarios y valores presentes netos de los impactos proyectados en cinco años para PD y AT

Cambio	q_j	i	dc	Impacto año 0	Impacto año 1	Impacto año 2	Impacto año 3	Impacto año 4
PD ₁	42	5	10%	\$37.262.124	\$33.535.912	\$30.182.321	\$27.164.088	\$24.447.680
PD ₂	42	5	5%	\$2.054.540	\$1.951.813	\$1.854.222	\$1.761.511	\$1.673.436
PD ₃	42	5	5%	\$154.967.970	\$147.219.572	\$139.858.593	\$132.865.664	\$126.222.380
Total PD				\$194.284.635	\$182.707.297	\$171.895.136	\$161.791.263	\$152.343.496
VAN _{PD}				\$194.284.635	\$178.251.021	\$163.612.265	\$150.239.272	\$138.015.688
AT ₁	6	2	10%	\$1.744.530	\$1.570.077			
AT ₂	5	2	6,44%	\$3.499.039	\$3.273.701			
AT ₃	31	2	6,15%	\$26.378.535	\$24.756.681			
AT ₄	42	5	5%	\$3.351.013	\$3.183.462	\$3.024.289	\$2.873.075	\$2.729.421
AT ₅	9	5	5%	\$7.625.008	\$7.243.757	\$6.881.569	\$6.537.491	\$6.210.616
AT ₆	33	5	5%	\$38.288.300	\$36.373.885	\$34.555.191	\$32.827.431	\$31.186.060
AT ₇	35	5	5%	\$12.053.850	\$11.451.158	\$10.878.600	\$10.334.670	\$9.817.936
AT ₈	42	5	5%	\$52.493.131	\$49.868.475	\$47.375.051	\$45.006.298	\$42.755.983
AT ₉	35	5	5%	\$9.077.796	\$8.623.906	\$8.192.711	\$7.783.075	\$7.393.922
AT ₁₀	42	5	5%	\$1.113.102	\$1.057.447	\$1.004.575	\$954.346	\$906.629
AT ₁₁	42	5	5%	\$542.047	\$514.944	\$489.197	\$464.737	\$441.503
AT ₁₂	38	5	5%	\$1.278.364	\$1.214.445	\$1.153.723	\$1.096.037	\$1.041.235
AT ₁₃	21	5	5%	\$2.414.544	\$2.293.817	\$2.179.126	\$2.070.170	\$1.966.661
AT ₁₄	10	5	5%	\$6.638.437	\$6.306.515	\$5.991.189	\$5.691.630	\$5.407.048
AT ₁₅	10	5	5%	\$8.906.166	\$8.460.858	\$8.037.815	\$7.635.924	\$7.254.128
AT ₁₆	2	5	5%	\$224.651	\$213.419	\$202.748	\$192.610	\$182.980
AT ₁₇	2	5	5%	\$252.178	\$239.569	\$227.590	\$216.211	\$205.400
AT ₁₈	37	5	5%	\$47.089.239	\$44.734.777	\$42.498.038	\$40.373.136	\$38.354.479
Total AT				\$222.969.930	\$211.380.893	\$172.691.412	\$164.056.841	\$155.853.999
VAN _{AT}				\$222.969.930	\$206.225.261	\$164.370.172	\$152.343.086	\$141.196.031

Fuente: elaboración propia

La suma de los VAN_{PD} de los cinco años y el $SROI_{PD}$ fueron de \$824.402.881 y 2,42, respectivamente. Con estos resultados se identificó que la inversión en PD se duplicó en términos de impactos y que su retorno se obtuvo en 24,8 meses, debido principalmente a los efectos de la instalación de los cultivos en los predios familiares, lo cual permitió proyectar ingresos futuros (PD_3) por 20 años a partir de la estimación de la producción generada en las parcelas de 0,25 ha para este periodo. Esta estimación se solidifica en iniciativas como los LT en donde se implementaron estrategias integradoras que favorecen el alcance de los niveles de producción proyectados, como fue el caso del acompañamiento en el manejo adecuado de los cultivos con las labores culturales y en la gestión de la cosecha y el beneficio del cacao. El análisis de este índice puede complementarse al incluir aquellos efectos causados en familias productoras de cacao que no están vinculadas a los LT, puesto que esta actividad tiene como uno de sus propósitos centrales ser vitrina demostrativa que promueva el interés en la producción a nivel familiar mediante la demostración de los efectos positivos de la aplicación de procesos óptimos dentro del establecimiento y el manejo de los cultivos.

El VAN_{AT} y el $SROI_{AT}$ fueron de \$887.104.480 y 3,82, respectivamente. Con estos resultados se identificó que la inversión en AT se triplicó en términos de impactos y que su retorno se obtuvo en 15,7 meses. En este comportamiento del índice tuvieron un papel protagónico los cambios con mayores monetizaciones (AT_6 , AT_8 , AT_{15} y AT_{18}). El cambio AT_{18} , correspondiente al aumento de la producción de cacao (247 ± 328 kg/ha/año), se explicó por los demás cambios evaluados en el estudio para AT y vinculados con el desarrollo de las labores culturales, la fertilización y las BPA. El acompañamiento en los temas de labores culturales y beneficio del cacao se facilitó debido al conocimiento previo que las familias tenían en estos aspectos. Por su parte, las actividades relacionadas con

el plan de fertilización y las Buenas Prácticas Agrícolas fueron elementos innovadores entre las familias (E. Caro, comunicación personal, 13 de julio de 2021), quienes identificaron un vínculo directo con la productividad, particularmente con el acompañamiento a la fertilización (C.M. Guacaneme, comunicación personal, 13 de julio de 2021).

Dentro del $SROI_{AT}$ sobresale la cantidad de BPA de criterio mayor (AT_8) implementadas en relación con la cantidad de BPA de criterio fundamental y menor (AT_7 y AT_9) realizadas en los predios. Esto puede explicarse porque los criterios mayores son aquellos que reducen los riesgos potenciales en la calidad sanitaria de los granos de cacao y, por ello, aunque en el acompañamiento para la apropiación de requisitos fundamentales, mayores y menores se manejó la misma estrategia, algunos criterios pueden considerarse menos beneficiosos para el aumento de la productividad, poco tangibles o inmediatos, por lo que suelen ser menos implementados (FAO, 2012). La estrategia que se desarrolló por parte de los LT y el enfoque que en futuras intervenciones se pueda realizar sobre estas prácticas, incluyendo aquellas relacionadas con los criterios fundamentales y menores, permite establecer un acercamiento al cumplimiento de los estándares requeridos en la resolución N°020009 del 7 de abril de 2016 del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario, 2016).

Los índices obtenidos en el $SROI_{PD}$ y $SROI_{AT}$ se encontraron dentro del rango de índices construidos por Amaro (2014), Arvizu & Borbón (2017), la Fundación Ecología y Desarrollo Ecodes (2018), la Fundación Tomillo (2018), Molina & Quintero (2019) y Serna & González (2018). En estos trabajos se emplearon diversas técnicas de monetización, incluyendo el ahorro de costos potenciales, para elaborar un índice de evaluación de impacto por proyecto bajo diferentes monedas, como el peso colombiano y el euro; los resultados pueden someterse a análisis comparati-

vos, lo cual es un atributo que sobresale dentro de la metodología del retorno social de la inversión.

Los resultados alcanzados por los LT son favorables para los propósitos del proyecto porque, como mínimo, duplicaron la inversión realizada e incidieron en la calidad de vida de las familias productoras de cacao, lo que se ve expresado en los relatos de los productores participantes. Torres (comunicación personal, 13 de julio de 2021) señaló que “se refleja en cada uno de nosotros los productores que ha habido un cambio, cambio de actitud, de mentalidad, de formas de pensar y de actuar, que son maravillosas en el área productiva”. Para otros productores, el cultivo de cacao tomó importancia dentro de sus actividades productivas, como lo planteó Emildo Babilonia (comunicación personal, 13 de julio de 2021): “el cacao estaba, pero yo no iba, no sabía nada del cacao. Ya llegó Sol y los otros muchachos y me fui empapando del tema, aprendí la poda, las enfermedades, a injertar, tantas cosas... entonces estoy emocionado con el cacao”.

Este ejercicio investigativo puede complementarse posteriormente con el desarrollo de análisis de sensibilidad, desde el cual es posible identificar puntos óptimos de acuerdo con los intereses organizacionales (Molina & Quintero, 2019) y, a partir de la construcción de intervalos entre los que oscilen los índices finales, consolidar

el grado de confianza con respecto a los resultados obtenidos, comprobando de este modo el efecto que provocarían en los resultados del SROI diferentes variaciones y escenarios con respecto a los datos más significativos y que hayan ofrecido más dudas en las valoraciones. (Fernández et al. 2014, p. 13)

4. Conclusiones

Se concluye que la metodología del retorno social de la inversión (SROI) permite implementar los fundamentos del desarrollo sostenible, así

como las propuestas del Foro Global de Servicios de Asesoría Rural (GFRAS) y del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA). El SROI es una herramienta adecuada para la evaluación de impacto de proyectos con propósitos técnicos, económicos, sociales y ambientales que integran experiencias de cambio diversas, las cuales pueden ser cuantificadas mediante el principio de monetización, para ser relacionadas con su inversión; lo que genera un escenario propicio para análisis de costo-beneficio. De acuerdo con estas apreciaciones se concluye que el SROI es un índice que puede emplearse para la evaluación del Modelo Antropogógico de Extensión Agropecuaria (Maea) del Cedait y para las iniciativas que emerjan desde el SNIA.

Dentro de la evaluación de impacto de los LT realizados con familias campesinas productoras de cacao se identifica que los cambios que más aportan dentro de los índices SROI responden a aquellos relacionados con el aumento de los ingresos, lo que se complementa con los relatos de las familias campesinas que expresan cambios comportamentales. Se recomienda realizar a mediano plazo una comprobación de la sostenibilidad de los cambios en las familias para validar los resultados obtenidos. Para futuras evaluaciones de impacto de los LT se sugiere incluir los efectos experimentados por las familias que no están vinculadas al proyecto, hacer énfasis en las opiniones de las familias productoras para identificar desde su propia vivencia los cambios que han experimentado durante su participación en el proyecto e incorporar los impactos en los demás grupos de interés como, por ejemplo, los extensionistas.

Se concluye que los proyectos con el enfoque de los LT son una alternativa adecuada para la extensión rural, porque generan un impacto positivo que es mayor a la inversión que estos requieren.

Referencias bibliográfica

- Agencia de Desarrollo Rural de Colombia. (2018). Respuesta a inquietudes presentadas a la Dirección de Asistencia Técnica en el marco de la implementación de la Ley 1876 de 2017.
- Agrolanzarote. (2020). Curso injerto de frutales [sitio web]. Recuperado el 14 de abril de 2021 desde <http://www.agrolanzarote.com/cursos/curso-injerto-frutales>
- Aguilar-Agudo, A., Herruzo-Cabrera, J., Ochoa-Sepúlveda, J. & Pino-Osuna, M. J. (2019). Retorno social de la inversión (SROI) en tratamientos psicológicos basados en la evidencia. *Clínica y Salud*, 30(1), 13-20.
https://journals.copmadrid.org/clysa/archivos/1130_5274_clinsa_30_1_0013.pdf
- Amaro, L. (2014). *Metodología SROI: Aplicación de las primeras fases al proyecto de fortalecimiento de la cooperativa de catadores Coocamarji (Brasil)*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
<http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:CTD-RCyS-CuadernosRSC-5000>
- Arenilla, M. & García, R. (2013). *Innovación social. La integración social en la administración pública*. Editorial Netbiblo.
https://bci.inap.es/alfresco_file/10e850e6-d58f-4e5e-b1a2-532ff20010c6
- Asociación de Egresados de Ciencias Agrarias UNAL Medellín. (2016). *Curso manejo integrado de fertilizantes y enmiendas*. Un enfoque teórico-práctico.
https://www.medellin.unal.edu.co/egresados/boletin/2016/boletin23_16/plegable.pdf
- Arvizu, M. & Borbón, C. (2017). El retorno social de inversión de una empresa social agrícola en el sur de Sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41, 660-669.
<https://ageconsearch.umn.edu/record/266421>
- Bernal, E. (2007). *Montaje e instalación de un vivero para la recuperación de especies maderables y especies para cercas vivas en el municipio de Recetor*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1431/2007-05-02P-0013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Biofertilizar SAS. (2020). Seminario – taller sobre interpretación de análisis de suelos el 30 de noviembre de 2020 en Medellín (Colombia).

<https://www.biofertilizar.com/seminario-taller-interpretaci%C3%B3n-de-an%C3%A1lisis-de-suelos>

Cassetti, V. & Paredes-Carbonell J. (2020). La teoría del cambio: una herramienta para la planificación y la evaluación participativa en salud comunitaria. *Gac Sanit.*

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0213911119301591?token=3787859333DEE3F5E018D0B9CE36BEA9F770A3B9A35DC7319327391BAB61F17A2878E082590312DA2718BBA1E4EE162B&originRegion=us-east-1&originCreation=20210514003959>

Christoplos, I., Sandison, P. & Chipeta, S. (2012). Guía para evaluar la extensión rural. (No. C20-38). *Foro Global de Servicios de Asesoría Rural [GFRAS]*.

<https://www.g-fras.org/en/knowledge/gfras-publications.html?download=342:guia-para-evaluar-extencion-rural>

de la Pedrosa de Mata, B. (2019). ¿Son rentables las empresas sociales? La inversión de impacto y la medición del valor del impacto social. [Tesis de grado]. Colegio Universitario de Estudios Financieros.

https://biblioteca.cunef.edu/files/documentos/TFG_GDOBLE_A_2019-13.pdf

FAO. (2012). Factores que favorecen y limitan la implementación de las buenas prácticas agrícolas en la cadena hortícola. Experiencia a partir del caso de siete organizaciones de productores del departamento de Sololá.

https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/11/13305393011350/sistematizacion_bpas_hortalizas_febrero_2012_atinar.pdf

Fedecacao, Sistema General de Regalías & Gobernación de Antioquia. (2015). *Guía técnica para el cultivo de cacao*. Sexta versión.

Fernández, V., López, M., Tirado, P., Ariza, A., Ruiz, M. & Sianes, A. (2014). Metodología SROI para la medición del impacto social en el ámbito de la salud: el caso TANSO-LO5MINUTOS. Universidad Loyola Andalucía. España.

<https://aeca.es/wp-content/uploads/2014/05/104j.pdf>

Freire, P. (1973). ¿Extensión o comunicación? La concientización en el medio rural. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.

<https://grandeseducadores.files.wordpress.com/2015/07/extensic3b3n-o-comunicac3b3n-la-conciencia-en-el-medio-rural-1973.pdf>

- Foro de Innovación Social. (2013). El Retorno Social de la Inversión (SROI).
<https://foroinnovacionsocial.wordpress.com/2013/06/09/el-retorno-social-de-la-inversion-sroi/>
- Fundación Caja de Burgos. (2021). *Taller de poda responsable en Valladolid (España)*.
<https://portal.cajadeburgos.com/index.php?controller=MedioAmbienteController&action=details&curse=0200500514>
- Fundación Ecología y Desarrollo Ecodes. (2018). *Identificación y análisis del retorno social y socioeconómico de ATADI Empleo mediante la aplicación de la metodología SROI (Retorno Social de las Inversiones)*.
http://www.plenainclusionaragon.com/sites/plenainclusionaragon.com/files/informe_final_sroi_atadi_empleo_actualizacion_dic_2018.pdf
- Fundación Tomillo. (2018). *Medición del retorno social de la Fundación Maimona mediante la metodología SROI*.
<https://tomillo.org/informes/medicion-del-retorno-social-de-la-fundacion-maimona-mediante-la-metodologia-sroi/>
- Guisado, M., Cabrera, F. & Cortés, J. (2010). Aproximaciones a la evaluación del impacto social de la ciencia, la tecnología y la innovación. *Acimed*, 21(2), 161-183. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/16590/file_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández-Ascanio, J., Tirado-Valencia, P. & Ariza-Montes, A. (2016). El concepto de innovación social: ámbitos, definiciones y alcances teóricos. CIRIEC-España, *Revista de economía pública, social y cooperativa*, (88), 164-199.
<https://ojs.uv.es/index.php/ciriecespana/article/view/8849/9551>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2016). Resolución 020009 de 2016 por medio de la cual se establecen los requisitos para la certificación en Buenas Prácticas Agrícolas en producción primaria de vegetales y otras especies para consumo.
<https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/resoluciones-derogadas/res-020009-de-2016.aspx#:~:text=Instituto%20Colombiano%20Agropecuario-,RESOLUCI%C3%93N%20No.,otras%20especies%20para%20consumo%20humano%22.>

- Landini, F. (2016). Concepción de extensión rural en 10 países latinoamericanos. *Andamios*, 13(30), 211-236.
<https://andamios.uacm.edu.mx/index.php/andamios/article/view/9/pdf>
- Libera, E. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto. *Acimed* 15(3).
- Ley 1876 de 2017. Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones. 29 de diciembre de 2017. D.O. N° 50461
- López, C. (2016). *Formulación de un plan para implementar la técnica de buenas prácticas agrícolas en un cultivo de maracuyá del municipio de Suaza en el Huila bajo lineamientos PMI*. [Tesis de grado]. Universidad Militar Nueva Granada.
<https://core.ac.uk/download/pdf/143452279.pdf>
- López, J. (22 de octubre de 2020). Banco de la República espera que 2020 cierre con inflación a 1,5% y en 2021 en 2,5%. *La República*.
<https://www.larepublica.co/economia/el-banco-de-la-republica-espera-que-2020-cierre-con-inflacion-a-15-y-en-2021-en-25-3078142>
- MercadoLibre Colombia. (2021). Narex Mazo de madera para talla 460gr O 16 Oz.
https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-607486218-narex-mazo-de-madera-para-talla-460gr-o-16-oz-_JM#position=8&type=item&tracking_id=5eab9dd9-3643-45da-82a1-b018c3a03554
- Molina, L. & Quintero, L. (2019). El Retorno Social de la Inversión (SROI) como herramienta de análisis para la gestión de proyectos sociales en la Fundación Grupo Familia (Colombia). *Revista de Investigación En Ciencias Estratégicas*, 6(1), 2–23.
<http://lewisquintero.com/wp-content/uploads/2020/01/3.pdf>
- Monje, J. (2017). *Teoría del Cambio en Contextos Complejos: 40 lecciones para la gestión de proyectos ágiles*. Centro de Estudios Estratégicos Magrebies. Primera edición.
- Navarro, H. (2005). *Manual para la evaluación de impacto de proyectos y programas de lucha contra la pobreza*. Cepal.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/5605-manual-la-evaluacion-impacto-proyectos-programas-lucha-la-pobreza>
- Nicholls, J., Lawlor, E., Neitzert, E. & Goodspeed T. (2012). *A guide to Social Return on Investment*.

- <http://www.socialvalueuk.org/app/uploads/2016/03/The%20Guide%20to%20Social%20Return%20on%20Investment%202015.pdf>
- Nicholls, J. (2016). Social return on investment—Development and convergence. *Evaluation and Program Planning*, 64, 127-135.
- OCDE. (2015). Revisión de la OCDE de las Políticas Agrícolas: Colombia 2015 Evaluación y Recomendaciones de Política.
https://www.minagricultura.gov.co/Reportes/OECD_Review_Agriculture_Colombia_2015_Spanish_Summary.pdf
- Osorio, J. C. (2017). Monetización del bienestar por el consumo de agua potable: enfoque de valoración contingente. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
- Percy, R. (1999). Gender analysis and participatory rural appraisal: Assessing the current debate through an Ethiopian case study involving agricultural extension work. *Int J Educ Dev*, 19(6): 395-408.
- Decreto 3199 de 2002 por el cual se reglamenta la prestación del Servicio Público Obligatorio. 27 diciembre 2002. D.O N. 45049. 30
- Proyecto de ley por medio del cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones. Procedimiento legislativo especial para la paz. (31 de julio de 2017). *Gaceta del Congreso de Colombia*, año XXVI - N° 622.
- Rodríguez, A. & Alvarado, H. (2008). Claves de la innovación social en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2536/1/S0800540_es.pdf
- Rodríguez-Espinosa, H., Ramírez-Gómez, C. J. & Restrepo-Betancur, L. F. (2016). Nuevas tendencias de la extensión rural para el desarrollo de capacidades de autogestión. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 17(1), 31-42.
<http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/457>
- Rodríguez-Espinosa, H., Piedrahíta-Pérez, M. A. & Velásquez-Chica, A. (2017). Identificación de indicadores de evaluación y seguimiento de la asistencia técnica agropecuaria en Antioquia (Colombia). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 479-493
<http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/739>

- Rogers, P. (2014). *La teoría del cambio*. En: Síntesis, metodológicas: evaluación de impacto, (2). UNICEF.
https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/Brief%20%20Theory%20of%20Change_ES.pdf
- Serna, C. & González, M. (2018). Análisis del retorno social de la inversión del proyecto manos al agua. Estudio de caso en la microcuenca Edén-Bareño, Aguadas-Caldas. *CENICAFÉ*.
<https://docplayer.es/185083470-Analisis-del-retorno-social-de-la-inversion-del-proyecto-manos-al-agua.html>
- SVI. (2019). Standard on applying Principle 3: Value the things that matter. Subcomité Metodológico (MSC) de Valor Social Internacional (SVI).
<https://socialvalueint.org/wp-content/uploads/2019/11/Standard-on-applying-Principle-3-Value-the-Things-that-Matter-FINAL.pdf>
- Sotomayor, O., Rodríguez, A. & Rodrigues, M. (2011). Competitividad, sostenibilidad e inclusión social en la agricultura: Nuevas direcciones en el diseño de políticas en América Latina y el Caribe. *Cepal*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2595/1/S1100593_es.pdf
- Universidad Antonio Nariño. (2019). *Curso: Cosecha y poscosecha del cacao - Ibagué*.
<https://www.uan.edu.co/component/k2/item/3670-curso-cosecha-y-poscosecha-del-cacao-ibague>
- Universidad Nacional de Colombia. (2021). *Curso de manejo de plagas y enfermedades en cultivos y huertos*.
<http://www.cienciasagrarias.bogota.unal.edu.co/curso-plagasyenfermedades>
- Villalba, J. & Pabón, F. (2016). *Propuesta de construir o restaurar la infraestructura de beneficio en fincas de pequeños cacaoautores en el Departamento de Norte de Santander para mejorar la calidad del grano*. [Tesis de grado]. Universidad Industrial de Santander.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/165548.pdf>
- Zamudio, J. (2016). Medición del valor social: el método del retorno social de inversión (SROI). *InnovaG*, (1), 49-52.
<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/innovag/article/view/18766>



Capítulo 7.

Estudios ecoepidemiológicos de zoonosis en Colombia: de la teoría a la práctica en leishmaniasis (1983-2022)

Lina Carrillo-Bonilla

*MV, Msc, DSc. VERICEL-Facultad de Ciencias Agrarias
-Universidad de Antioquia*

Sara M. Robledo

Microbiol., Msc., DSc. PECET-Universidad de Antioquia

Andrés Vélez-Mira

Zoot. PECET-Universidad de Antioquia.

Iván Darío Vélez-Bernal

Med, Msc, PhD. PECET-Universidad de Antioquia

Resumen

La ecoepidemiología es una apuesta por un abordaje holístico y multinivel que en las últimas décadas ha pretendido dar una mejor respuesta al reto del entendimiento, prevención y control de las enfermedades. Este capítulo pretende mostrar cómo esta teoría se lleva a la práctica en el estudio de focos de transmisión de la leishmaniasis en diferentes

zonas del país, intentando desarrollar herramientas propias adaptadas a los territorios donde se hacen estos estudios. La aplicación de este método ha permitido reconocer como elementos clave para el riesgo de infección al flebotomíneo vector y, de acuerdo con este, se han definido los límites del foco o macrofoco como las zonas geográficas donde el vector está presente. Así mismo, de acuerdo con la bionomía o comportamiento del vector, se han reconocido las épocas o estaciones de mayor riesgo de transmisión, usualmente una o dos semanas posteriores al pico de mayor densidad de vectores, que se da en las transiciones de verano a invierno correspondientes generalmente a los meses de abril y octubre. La población de riesgo es aquella que está en mayor contacto con el vector infectado y es particular a cada región. La hora de mayor riesgo es aquella en la que hay mayor actividad de picadura de los vectores, usualmente en la noche. Por último, el microfoco se determina respecto al domicilio: intra, peri o extra domicilio. Se considera que el estudio de esta enfermedad debe continuar y profundizarse bajo el enfoque de la ecoepidemiología.

Palabras clave: *leishmaniasis, Lutzomyia, estudio de foco, reservorio, Psychodidae*

I. Introducción

Con el avance del conocimiento sobre diferentes enfermedades zoonóticas, como la leishmaniasis, la ciencia ha entendido que su estudio y análisis debe trascender el concepto determinista del paradigma epidemiológico dominante desde la segunda guerra mundial sobre salud-enfermedad. El estudio de las enfermedades bajo el método ecoepidemiológico es una de estas propuestas renovadoras y tiene como fundamento integrar de una manera holística los efectos deter-

minantes en su presentación al analizar los diferentes niveles que se relacionan con ella, como la ecología, el comportamiento humano, la biología e incluso los componentes celulares.

Este esquema multidimensional y multinivel ha sido llamado esquema de las cajas chinas y ha pretendido reemplazar el paradigma predominante en los estudios epidemiológicos clásicos de las cajas negras, el cual se ha quedado corto para explicar la emergencia y reemergencia de muchas enfermedades, especialmente las transmitidas por vectores. En las cajas negras se muestra que la exposición a múltiples factores de riesgo está relacionada con la enfermedad, sin necesidad de describir los factores intervinientes o la patogénesis de la enfermedad. Las cajas chinas, por el contrario, entienden que la salud y la enfermedad tienen capas condicionadas por múltiples determinantes genéticos, psicosociales, culturales, económicos, políticos, demográficos y ambientales. Este mismo concepto ha sido compartido por metodologías que actualmente tienen auge, como la epidemiología social contemporánea, la economía política de la salud y, más recientemente, la epidemiología crítica (Ariza et al., 2004).

Como todo paradigma, su implementación requiere adaptaciones y el desarrollo de nuevas herramientas. En el caso del estudio de la leishmaniasis, la ecoepidemiología estudia los elementos de la transmisión, los factores ecológicos asociados y los comportamientos humanos que afectan la transmisión. Los estudios de la leishmaniasis en Colombia comenzaron en 1983 con lo que se llamó en principio Servicio de Leishmaniasis y luego de tres años pasó a llamarse Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales (PECET), un grupo de investigación en el que trabajaban microbiólogos y médicos con el objetivo común de aplicar el método ecoepidemiológico al estudio de esta enfermedad. Su director y fundador, el doctor Iván Darío Vélez Bernal, estudió en la Universidad de

Montpellier con el doctor Jean Antoine Rioux, uno de los académicos más importantes en la ecoepidemiología. Vélez encontró que este enfoque podría ser muy útil para el estudio de una de las enfermedades tropicales que más azotaba nuestro país: la leishmaniasis (Vélez et al., 2017).

El objetivo de este capítulo es presentar la aplicación del método ecoepidemiológico en el estudio de la leishmaniasis a lo largo del país, desde 1983 hasta la actualidad, así como sus resultados más relevantes. Para dar contexto al lector el capítulo comenzará referenciando algunos conceptos básicos sobre la leishmaniasis, para luego presentar sus resultados de acuerdo a cada actor del ciclo de transmisión, con lo cual se dará paso a las conclusiones.

2. Algunos conceptos básicos

2.1. La leishmaniasis

La leishmaniasis es una enfermedad infecciosa causada por protozoos del género *Leishmania*, familia Trypanosomatidae. El género *Leishmania* comprende alrededor de 25 especies que se agrupan en los subgéneros *Leishmania* y *Viannia*, de acuerdo con la ubicación del parásito en el intestino del vector (Grimaldi et al., 1989; WHO, 2010). Es endémica en cerca de 98 países distribuidos en las regiones tropicales y subtropicales del planeta. Las cifras que definen la carga de la enfermedad y los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) estiman que cada año 350 millones de personas están en riesgo de adquirir la infección, de las cuales se infectan de 1,5 a 2 millones. Sin embargo, debido al gran subregistro en prácticamente todos los países, la carga de la enfermedad está subestimada (Alvar et al., 2012).

La enfermedad no se distribuye homogéneamente en la naturaleza, sino que se circunscribe a zonas geográficas específicas llamadas fo-

cos naturales de transmisión, es decir, lugares donde están presentes los elementos clave de la transmisión: vectores y reservorios infectados (estos nichos o nidos fueron descritos por el padre de la ecoepidemiología, el dr. Pavlovsky, en 1988). A su vez, la presencia de estos elementos, y especialmente de los vectores, está condicionada a factores de tipo ecológico, como el clima, la humedad, la temperatura y la vegetación, entre otros. Estos factores permiten no solo la presencia del vector sino su densidad relativa y su distribución espacial y, con ello, la distribución de los focos de transmisión y en buena medida el grupo de población humana que van a infectar (Rioux et al., 1986; Vélez et al., 2017).

La leishmaniasis se caracteriza por su gran polimorfismo clínico, por ello para muchos autores no se trata de una enfermedad sino de un grupo de enfermedades. Las diferentes manifestaciones clínicas dependen de la especie de *Leishmania* infectante y de la respuesta inmune desencadenada por el hospedero. Además, pueden variar desde formas benignas y autolimitadas de leishmaniasis cutánea (LC), hasta formas más severas como la leishmaniasis mucosa (LM), la leishmaniasis cutánea difusa (LCD) y la leishmaniasis visceral (LV) (Abadías-Granado et al., 2021).

El diagnóstico temprano de esta enfermedad es de gran importancia, ya que permite iniciar el tratamiento específico lo antes posible y, con este, controlar la evolución de la enfermedad, aliviar los signos y síntomas y mejorar la calidad de vida de los pacientes, quienes están expuestos a un gran estigma social por las “marcas” que implican las lesiones activas, las cicatrices y las secuelas físicas que deja. Dado que los hallazgos clínicos y epidemiológicos no son patognomónicos de la enfermedad, es necesario realizar el diagnóstico de laboratorio para verificar la sospecha clínica de leishmaniasis. El diagnóstico de la leishmaniasis debe ser parasitológico, es decir, debe estar basado en la visualización del parásito por medio de tinciones específicas, como la coloración de Wright o de

Giemsa o la detección de su material genético (ADN), por medio de técnicas moleculares como la reacción en cadena de la ADN polimerasa (PCR) a partir de extendidos (frotis), cultivos del material obtenido de la lesión (para los casos de LC y LM) o del material obtenido de aspirados o biopsias de médula ósea, hígado o bazo (en el caso de la LV). Las herramientas diagnósticas varían dependiendo de la forma clínica de la enfermedad, en algunos casos de LM o LV no es posible visualizar o aislar el parásito y por ello el diagnóstico puede ser clínico y con ayuda de la detección de anticuerpos específicos contra *Leishmania* spp. (Hong et al., 2020).

La PCR (reacción en cadena de la polimerasa) sirve para detectar el ADN del parásito en pacientes humanos, en muestras de animales que son posibles reservorios y en los flebotomíneos vectores. La especificidad de esta técnica puede llegar a ser del 100% y su sensibilidad está muy por encima de cualquier otro método diagnóstico: entre el 98-99% si se usan los iniciadores ("*primers*") apropiados. Otras técnicas derivadas de la PCR incluyen el análisis de los fragmentos de restricción de longitud polimórfica (RFLP), con el cual se puede hacer identificación de especies de *Leishmania*. Esta es una técnica menos compleja y engorrosa que la técnica de isoenzimas —la cual ha sido la técnica de oro para la tipificación de especies de *Leishmania* (Montalvo et al., 2010)—. Aunque las desventajas de estas técnicas moleculares han sido los altos costos y la necesidad de laboratorios especializados con equipos de alta tecnología, los primeros han ido disminuyendo por la producción en masa de sus materias primas y los equipos están siendo reemplazados por el uso de técnicas de amplificación isotérmica que no requieren el uso de termocicladores.

Existen métodos indirectos que ayudan al diagnóstico pero que por sí solos no son concluyentes, como la detección de anticuerpos específicos contra *Leishmania*, principalmente de tipo IgG, mediante pruebas

serológicas y la evaluación de la respuesta celular mediante una prueba cutánea de hipersensibilidad retardada, conocida como prueba de Montenegro o Leishmanina. Los métodos serológicos más usados incluyen la inmunofluorescencia indirecta (IFI) y el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA); en estas técnicas se utilizan parásitos enteros o lisados como fuente de antígeno. La prueba de intradermorreacción de Montenegro (IDRM) o Leishmanina es una prueba de tipo retardada de hipersensibilidad cutánea a antígenos homólogos o heterólogos de los promastigotes de *Leishmania* spp. La IDRM es muy útil para el estudio epidemiológico de la leishmaniasis y sirve ante todo como apoyo para el diagnóstico de la leishmaniasis cutánea y, algunas veces, de las formas mucosas en las que la reacción es más intensa. La IDRM no tiene la capacidad de distinguir entre infecciones actuales e infecciones previas, por ello en zonas de transmisión endémica una prueba positiva ayuda a orientar el diagnóstico (Reimão et al., 2020).

La leishmaniasis es transmitida por insectos de la subfamilia Phlebotominae, que registra aproximadamente 800 especies de las cuales 98 son vectores confirmados o sospechosos de transmitir leishmaniasis a humanos, particularmente 56 especies de *Lutzomyia França*, 1924 en América. En Colombia se han descrito 153 especies, de las cuales se ha confirmado que 13 son transmisoras del parásito y seis más son sospechosas de serlo (Bejarano & Estrada, 2016).

Los reservorios fundamentales para que ocurra el ciclo de transmisión pueden ser selváticos y domésticos. En las zonas endémicas de LV se estudia principalmente al perro doméstico, pues es el principal reservorio de *L. infatum*. Las manifestaciones clínicas principales son: decaimiento, pérdida de peso, pelo hirsuto, crecimiento de las uñas u onicogrifosis, hepato y esplenomegalia, linfadenopatías —especialmente de los ganglios poplíteos—, cataratas y enflaquecimiento de los músculos de la

trompa —lo que le da el aspecto de animal viejo—. Después se forman escamas en todo el cuerpo, las cuales son más abundantes alrededor de los ojos, por lo cual se conoce como el signo de los anteojos. Se debe tener presente que los perros infectados tienen la capacidad de infectar a los flebotomíneos desde antes de que se presenten las manifestaciones clínicas de la enfermedad e incluso después del tratamiento, por lo que la encuesta canina debe incluir a los perros asintomáticos, especialmente a los que se encuentren en la misma vivienda o alrededor de las viviendas en donde se han confirmado casos humanos (Serafim et al., 2020). Los reservorios silvestres de LV son principalmente cánidos salvajes, como el zorro.

En las zonas endémicas de LC la determinación de cuál o cuáles son los reservorios no es tan clara, pues se han detectado más de 100 especies de mamíferos infectados con diferentes especies de *Leishmania* causantes de la LC, como *L. amazonensis*, *L. braziliensis* y *L. panamensis*, entre otras. (Roque et al., 2014). Debido a estos resultados, algunos autores sugieren que no se puede hablar de una especie reservorio para la leishmaniasis, sino de un conjunto de especies en un nicho determinado, es decir, un sistema ecológico que permite la permanente infección de los vectores y la transmisión del parásito (Haydon et al., 2002; Akhouni et al., 2016).

2.2. La ecoepidemiología

La ecoepidemiología plantea un paradigma distinto al que ha dominado los estudios epidemiológicos de los últimos sesenta años (el paradigma de la caja negra). Esta disciplina busca entender de forma integral los problemas complejos que representan las enfermedades y su ocurrencia, lo cual está siempre condicionado por una multiplicidad de factores que se encuentran constantemente interactuando entre sí.

La aplicación del método ecoepidemiológico a la leishmaniasis ha permitido identificar tres ciclos principales de transmisión, a saber: selvático, doméstico-rural y doméstico-urbano. En el **ciclo selvático** la transmisión del parásito ocurre cuando el humano entra en el bosque o selva, donde es picado por los insectos vectores y se infecta. En este tipo de transmisión el humano es un hospedero accidental que no interviene en el ciclo de transmisión. Las personas que ingresan a las selvas (como personas que trabajan en minería, cacería, tala de árboles, construcción de infraestructura, fuerzas militares, etc.) son la población más afectada.

El **ciclo doméstico-rural** se presenta en América, y en otros lugares del mundo, donde se ha observado un aumento del número de casos de leishmaniasis por la suspensión de los programas de rociamiento de las viviendas con DDT para el control de la malaria. Los vectores llegan al peri-domicilio, entran a las viviendas rurales y transmiten la infección a todo el núcleo familiar. Se ha notado que no hay diferencia en la tasa de infección de acuerdo con el género de la persona, pero sí hay una mayor tasa de infección en niños (Vélez et al., 2010). Finalmente, el **ciclo doméstico-urbano** se presenta en varios países americanos, como Brasil, Paraguay, Venezuela e incluso Colombia, donde es cada vez más frecuente la presencia de los vectores en ciudades y, por tanto, la transmisión urbana de LC y LV.

Se puede constatar que los focos de transmisión son dinámicos y se van transformando en el tiempo como resultado de cambios ambientales. Hay entonces presencia o alternancia de vectores en zonas donde antes no estaban y aparición de brotes epidémicos. El humano juega un papel modulador en el riesgo al favorecer o dificultar la transmisión; por ejemplo, en algunas regiones andinas la deforestación y el establecimiento de zonas de pastoreo ha confinado a los insectos vectores de LC al interior del bosque; a su vez, la deforestación crea un ambiente favorable

para el establecimiento del vector de LV *Lu longipalpis*, como se ha observado en Brasil y Colombia (Vélez et al., 2010).

Los focos endémicos selváticos y domésticos-rurales se caracterizan por ser zonas generalmente alejadas de las ciudades en las que hay condiciones de pobreza y grandes inequidades sociales, como la poca o inexistente presencia de las entidades de salud del Estado. Por lo visible de las lesiones, pues se localizan en las zonas descubiertas de la piel, la cronicidad y lo deformante que pueden llegar a ser LC y LM, las poblaciones han elaborado sus propios sistemas médicos de tratamiento empírico para la enfermedad. Se entiende por sistemas médicos el complejo de ideas o creencias acerca de las causas y curas de la enfermedad, las técnicas utilizadas para contrarrestarla y las cualidades de los remedios. Tener en cuenta estos sistemas médicos es fundamental para el diseño y la realización de programas asistenciales y de control de las enfermedades (Vélez et al., 2010).

3. Adaptación metodológica para los estudios de foco en leishmaniasis

Se ha elaborado una aproximación práctica del concepto de la ecoepidemiología a través de una metodología para desarrollar estudios de foco que permitan el conocimiento del ciclo de la enfermedad, los límites de las zonas de transmisión, el segmento de población en mayor riesgo de infección, las épocas del año, horas y lugares con respecto al domicilio de mayor riesgo, los posibles reservorios, las concepciones y actividades culturales sobre la misma, así como los diferentes niveles de atención en salud. Para ello es necesario establecer objetivos claros que permitan la caracterización epidemiológica, ecológica y antropológica de la zona de estudio, de manera que se puedan establecer correlaciones entre estos aspectos.

La metodología sugiere realizar las actividades que se describen a continuación.

3.1. Estudio de población humana

3.1.1. Búsqueda activa de casos

Los estudios de las poblaciones residentes en los estudios de foco se llevan a cabo mediante la búsqueda activa de casos, la cual puede hacerse por concentración o por visita casa a casa. El propósito es captar el mayor número posible de casos para establecer la real frecuencia de la enfermedad.

La búsqueda debe enfocarse en la identificación de lesiones, para lo cual se examinan la piel y las membranas mucosas mediante el examen clínico de la región nasal-orofaríngea. Además, se debe identificar cualquier signo o síntoma compatible con LV, como fiebre o hepato-esplenomegalia, especialmente en infantes dado que en Colombia hay presencia de la especie *L. infantum* que afecta principalmente a menores de cinco años. El examen de la mucosa naso-orofaríngea también debe realizarse en todas las personas con antecedentes de la enfermedad o con cicatrices compatibles. Durante la búsqueda activa de casos es posible identificar pacientes que tienen lesiones mucosas muy avanzadas, las cuales causan destrucción de nariz, boca, faringe y labio. Se ha observado que las personas con este tipo de lesiones no acuden a los centros de salud de la región debido a la desfiguración que provoca este tipo de lesiones. Es clave localizar a estas personas a través de la información proporcionada por la comunidad a fin de obtener las muestras necesarias para hacer un diagnóstico e iniciar un tratamiento.

Este ejercicio también permite diagnosticar casos en fases iniciales de evolución clínica y determinar casos antiguos. A las personas que pre-

senten lesiones compatibles con la enfermedad se les diligencia un formato de historia clínica y se le toman las muestras. Es importante además registrar información pertinente al protocolo de vigilancia epidemiológica como:

- Número de personas examinadas y su distribución por grupos de edad y género.
- Número de casos confirmados de leishmaniasis cutánea, mucosa, visceral y su distribución por grupos de edad y género.
- Número de casos confirmados que recibieron tratamiento y tipo de tratamiento administrado, dosis diaria y duración.
- Número de personas con antecedentes de infección con *Leishmania* y su distribución por grupos de edad y género.

Se pueden recolectar muestras de los casos sospechosos de LC o LM, incluyendo el raspado para frotis y la aspiración para cultivo en el medio NNN (Novy-MacNeal-Nicolle). Todas las muestras se deben analizar mediante PCR. En los casos de LV se debe tomar una muestra de aspirado de bazo o médula ósea para el frotis, cultivo y análisis de sangre para detectar anticuerpos específicos contra *Leishmania spp.* Todos estos procedimientos han sido establecidos por la OMS y se hacen de manera rutinaria en el laboratorio (Vélez & Agudelo, 1996).

3.1.2. Identificación del grupo de población que está en mayor riesgo de infectarse mediante la prueba de Montenegro

Se debe aplicar la prueba cutánea intradérmica, o prueba de Montenegro o Leishmanina, a una proporción representativa de los miembros de la comunidad, incluyendo a personas de todas las edades y géneros que acepten de manera voluntaria y firmen previamente un consentimiento informado.

La prueba consiste en la aplicación intradérmica del antígeno de Montenegro, la cual será leída entre 48 y 72 horas. Es positiva si hay una induración mayor o igual a 5 mm e indicará que el paciente está o estuvo en contacto con el parásito, sin que esto signifique necesariamente que haya padecido la enfermedad. Esta información permitirá determinar cuáles son los grupos poblacionales al interior del foco de transmisión que han estado en contacto con el vector infectado. Este lugar (microfoco) es de mayor riesgo de infección y permite sospechar un mayor contacto humano-vector, lo cual se debe correlacionar con la georreferenciación de los casos (Vélez & Agudelo, 1996).

3.2. Búsqueda de reservorios

Se debe hacer una búsqueda de reservorios silvestres y domésticos. Dado que el perro es el principal reservorio de LV en las zonas endémicas, la búsqueda de casos en ellos es prioritaria. Para ello se debe tener la siguiente información:

- Número de perros en la comunidad, de acuerdo con el censo (si lo hay), y promedio de perros por vivienda.
- Número de perros atendidos, sospechosos, infectados y su georreferenciación.
- Número de perros sacrificados. La OMS recomienda sacrificar los perros positivos, pues la respuesta al tratamiento es baja y no esterilizante, es decir que el perro puede seguir infectado, lo que implica mantener los riesgos de transmisión a humanos y de seleccionar cepas resistentes al medicamento.

En cuanto al papel de los perros en las zonas endémicas de LC, se recomienda hacer búsqueda activa de casos para tomar muestras de casos

sospechosos, esto es, perros con lesiones ulceradas o papilomatosas especialmente en las zonas desprovistas de pelo, que es donde tiene acceso el vector. Para la toma de estas muestras se sigue el mismo protocolo de toma de muestra de pacientes humanos. Si el animal resulta positivo es necesario someterlo a tratamiento y evaluar la situación epidemiológica del mismo. En el caso de la LC canina el perro se considera un hospedero accidental que poco interviene en la transmisión.

Aunque hay otros animales domésticos que han sido reportados infectados, y que de hecho han desarrollado lesiones de LC, como los gatos y los equinos, se desconoce su papel en la transmisión de la enfermedad; sin embargo, se estima que no es importante pues han sido casos reportados esporádicamente.

Para la búsqueda de reservorios mamíferos silvestres se han usado trampas Tomahawk® y Sherman®, las cuales tienen diferentes cebos para la atracción de los animales. A los animales capturados se les debe hacer un examen exhaustivo para la búsqueda de lesiones compatibles con las de leishmaniasis y proceder a la toma de muestras, también se deben hacer muestras de sangre y biopsia de piel previa anestesia para cultivo y PCR. Todos estos procedimientos deben contar con el aval de los comités de ética en cada una de las zonas en que se hace el estudio.

3.3. Estudio entomológico

Este es uno de los estudios más importantes pues la presencia y comportamiento de la picadura del vector es la que focaliza la enfermedad y determina el riesgo epidemiológico de infección. Por ello su estudio debe llevarse a cabo de manera sistemática y estricta. El objetivo del estudio entomológico debe ser identificar especies vectores responsa-

bles de la enfermedad y su comportamiento con respecto al domicilio, la época del año y las horas de mayor actividad de picadura.

Para la captura de los insectos se usan trampas adhesivas o de luz, como CDC y Shannon, y se hace búsqueda activa con aspirador bucal en los sitios de reposo (en la base de los árboles, por ejemplo). Los insectos recolectados en las trampas se separan en función de su macromorfología, que debe ser compatible con los flebotómíneos, y luego se empaquetan en seco con sílica gel para su conservación. Cada empaque debe estar debidamente rotulado con la información sobre el lugar de captura.

Ya en el laboratorio se realiza la identificación taxonómica, que comienza con un proceso de aclarado del exoesqueleto del insecto para observar sus estructuras internas; luego se utiliza un protocolo con KOH y un montaje de cabeza y últimos segmentos de abdomen para observación del sibiario y genitalia, respectivamente. El tórax y los primeros segmentos abdominales se guardan en seco a -20°C para procedimientos moleculares, como búsqueda de infección natural por parásitos de *Leishmania spp.*, o para uso de taxonomía molecular (Contreras et al., 2010). La identificación de las especies americanas se realiza usando la clasificación de Galati (2003, 2019) y de Young & Duncan (1994).

3.4. Caracterización antropológica

Una base importante en los estudios ecoepidemiológicos es el aspecto social y antropológico en relación con la enfermedad. Caracterizar estos aspectos es fundamental para ponderar los resultados cuantitativos en la disciplina epidemiológica y favorecer una aplicación eficaz de las medidas de prevención y control. Existen dos categorías de metodologías para obtener la información: (i) la cuantitativa, que permite la recolección de datos a través de encuestas, censos, entrevistas cerradas,

etc. y (ii) la cualitativa, que puede usar diferentes metodologías como estudios etnográficos, análisis cultural, análisis de conversaciones, entre otros, a través de técnicas como las entrevistas, la observación (participante o no) y el análisis de material visual.

La etnografía de campo ha sido el método más usado en los estudios de foco. En esta se aprovechan las reuniones colectivas y las visitas casa a casa y se implementan entrevistas a personas clave en la comunidad, como curanderos, líderes sociales y ancianos. El objetivo es entender las relaciones sociales que suceden en torno a la leishmaniasis al interior de la comunidad, la manera en la que el pensamiento colectivo influye en la cosmovisión de la enfermedad y las diversas maneras de conocerla y tratarla. Esto puede traducir en el concepto de Conocimiento, Actitud y Prácticas (CAP) frente a la enfermedad, en el que se recoge información como el nombre que le dan, las creencias sobre la forma en que se adquiere, el nombre local para los insectos vectores, las prácticas populares para prevenir y tratarla y las actividades de los pobladores que favorecen el mantenimiento de los focos de transmisión. También es importante caracterizar algunos factores de riesgo, como la estructura de las viviendas (si facilitan o no la circulación de los vectores tanto en el intra como en el peridomicilio) y los comportamientos de las personas que, dependiendo de la caracterización entomológica (es decir, de la ubicación donde se encuentra el vector y su comportamiento), favorecen el contacto. Adicionalmente, es importante caracterizar el servicio médico en los territorios afectados, teniendo en cuenta factores como el acceso y la atención.

3.5. Caracterización ecológica

Los factores ecológicos, como flora, suelos y especialmente el clima, determinan la presencia y la densidad de las especies vectores que, como

hemos reiterado en varios puntos de este capítulo, focalizan la transmisión de la enfermedad. Así, puede haber marcadores ecológicos que se pueden relacionar con la presencia o densidad de vectores (por ejemplo, altitud o un índice climático); esto permite cartografiar las zonas de riesgo, reconocerlas en los trabajos de campo e incluso modelar posibles nuevas zonas de riesgo. Por ello la descripción ecológica en el foco de transmisión es clave en los estudios de foco ecoepidemiológicos; sin datos como el régimen de lluvia, temperatura, uso del suelo, etc., no sería posible elaborar los mapas de riesgo y diseñar medidas de prevención y control racionales, económicas y efectivas.

3.6. Análisis estadístico

Se realiza análisis estadístico descriptivo teniendo en cuenta la naturaleza de las variables. Para las variables cualitativas se estiman frecuencias absolutas y relativas con respecto a los diferentes desenlaces como resultado de las pruebas de Montenegro y los casos positivos. En el caso de los estudios de seroprevalencia e incidencia de infección, se estiman las medianas y sus respectivos rangos intercuartílicos para las variables de índole cuantitativo. También se hace regresión mixta log complementaria para estimar los factores asociados a la seropositividad prevalente. Se hace análisis bivariado con el fin de seleccionar las variables candidatas que ingresarán al análisis multivariado de regresión. El análisis multivariado se hace con aquellas variables que tengan un valor p de significancia de $\leq 0,25$ en el análisis bivariado. Las viviendas se tienen en cuenta como efectos aleatorios en la regresión con una matriz de correlación de componente de varianza. Se usa la metodología de paso a paso con el criterio de los investigadores para seleccionar las variables que conformaron el modelo multivariado final. La regresión mixta log-log complementaria se pondera por la probabilidad inversa de seleccionar a una persona dentro de cada vivienda.

Además, se evalúan potenciales confusores y modificadores de los efectos y se selecciona el mejor modelo que explicará el desenlace a través de los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Para estimar las razones de prevalencia se utiliza la función de acuerdo con Penman & Johnson (2009). Se usa el paquete estadístico SAS System versión 14.2 (SAS software 9.04.01, 2016) para los procedimientos estadísticos y el PROC GLIMMIX para la programación de las regresiones.

4. Resultados y avances de los estudios de foco

Estudios cualitativos sobre sistemas médicos realizados en comunidades indígenas de Colombia han permitido diferenciar dos tipos de enfermedades: el primero comprende las llamadas “enfermedades de monte” y el segundo las enfermedades occidentales o “del blanco”, que curan los médicos occidentales o medicina facultativa. En el primer grupo se distinguen aquellas producidas por seres sobrenaturales, maleficios y causas naturales debidas al contacto brusco entre el calor y el frío. En las diversas comunidades indígenas estudiadas, la LC y la LV hacen parte de este grupo de enfermedades. (Vélez et al., 1995). Una diferenciación similar se encuentra entre los grupos poblacionales como blancos colonos del Urabá chocoano, para quienes la leishmaniasis se considera un sello de la selva, la forma en la cual esta los “acepta”, mientras que para las comunidades negras significa un castigo de la misma, a la cual le tienen mucho miedo (Carrillo-Bonilla et al., 2014).

Los nombres con los que se conoce la enfermedad en el país varían según la región e incluso al interior de una misma región; además, dependen de varios aspectos como la clase, edad y ocupación de las personas. La mayoría de las poblaciones campesinas colombianas consideran que la causa de la enfermedad es la picadura del “pito”, nombre con el que se designa tanto la leishmaniasis cutánea como a algunos insectos he-

mípteros hematófagos y específicamente redúvidos (insectos que viven en troncos y maderas en descomposición que se encuentran cerca de las casas). Sin embargo, en general no identifican a la palomilla (nombre con que se conoce comúnmente a los flebotomíneos) como transmisora de la enfermedad. También es frecuente encontrar la asociación entre la enfermedad y las serpientes, especialmente las conocidas como cascabel o verrugosas (pertenecientes al género *Lachesis*); se cree que al matarlas sus piojos muerden y transmiten la enfermedad.

El tratamiento con antimonio pentavalente (Glucantime®), medicamento de primera elección de las instituciones de salud, es temido debido a lo doloroso que resulta su aplicación (inyección intramuscular), a la duración del tratamiento (20 días) y a la idea en algunos grupos de personas de que genera esterilidad e impotencia en los hombres. Esta situación contribuye a que muchas personas busquen con mayor frecuencia los tratamientos alternativos, como quemaduras o tratamientos con plantas medicinales. El tratamiento con cáusticos consiste en la aplicación local de diversas sustancias como nitrato de plata, ácido sulfúrico o agua o panela caliente. Se usa principalmente la cauterización de la lesión con una cuchara o con la punta de un machete previamente calentado al fuego; esto se aplica sin anestesia sobre la úlcera, lo cual produce quemaduras graves que pueden llegar a contaminarse (Vélez, 2000). Por su parte, el tratamiento con plantas se basa en la aplicación de emplastos de plantas a las que les han atribuido propiedades contra el parásito.

Cuando se hacen estudios de foco y búsqueda activa de casos al interior de las zonas de transmisión, se encuentra que en los ciclos domésticos-rurales la enfermedad afecta tanto a hombres como a mujeres y en mayor proporción a los niños que a los adultos. Sin embargo, en los registros de consulta médica en centros de salud, hospitales y centros de referencia la enfermedad se diagnostica más en hombres en edad

laboral activa. Esto se explica porque en las regiones rurales las mujeres y los niños permanecen en sus viviendas mientras que los hombres se desplazan a la cabecera municipal para la venta de productos y la compra de alimentos, por lo que cuando se sienten enfermos asisten al hospital local. Ante la dificultad económica y el sobrecosto que representa llevar a las mujeres y los niños hasta la cabecera municipal, sumado a la poca credibilidad que en muchas regiones tiene el hospital como lugar idóneo para recibir un diagnóstico y tratamiento para la leishmaniasis, las mujeres y niños reciben más frecuentemente tratamientos basados en saberes populares. Esto demuestra una inequidad de género en el tratamiento de la LC (Vélez et al., 1987; Vélez et al., 2001).

También se han evidenciado diferencias en el nombre que se le dan a las lesiones, las cuales están basadas en estereotipos de género. En Chocó se le dice lesión hembra o úlcera hembra a las lesiones ulceradas típicas de la leishmaniasis y úlcera macho o lesión macho a las lesiones que no se ulceran y que son más granulomatosas y cerradas. Esto, haciendo referencia a que las primeras son más vistosas o “escandalosas”, mientras las segundas son discretas y más difíciles de curar (Carrillo-Bonilla et al., 2014).

Por otra parte, se ha identificado la creciente urbanización de la enfermedad, lo cual genera alertas tempranas sobre la adaptación del vector a estas áreas y constituye un mayor riesgo para las personas, pues son zonas con mayor densidad poblacional. Este fenómeno de adaptación se describió en un estudio realizado en el Darién chocoano en donde se muestrearon tres poblaciones con diferentes grados de desarrollo urbano durante un año. Se encontró que la diversidad de especies de *Lutzomyia* se ve fuertemente afectada por la antropización, pero que vectores como *Lu. panamensis* y *Lu. gomezi* logran adaptarse a este proceso (Carrillo et al., 2013).

Este fenómeno ha sido evidenciado también en el seguimiento de más de diez años de la fauna flebotomínea en el oriente de Caldas, donde la urbanización de las últimas décadas ha generado una disminución en la diversidad de especies de *Lutzomyia*, pero un aumento de la distribución de las especies vectores, en especial de *Lu. panamensis* y *Lu. longipalpis* (Acosta et al., 2008). En este mismo sentido, se han encontrado especies vectores y transmisión en poblaciones altamente urbanizadas como Neiva, Huila (Manotas-Berdugo et al., 2018). Esta descripción es sumamente importante en el contexto mundial, pues en grandes ciudades como Río de Janeiro ya se están dando transmisiones de LV (Silva et al., 2014).

En cuanto a los vectores de la enfermedad, se ha obtenido información valiosa sobre la presencia y distribución de especies de *Lutzomyia* en Colombia. Algunas especies han sido reportadas como nuevas en Colombia, como *Lu. suapiensis* (Contreras et al., 2012) y *Lu. frança* en la región amazónica (Bejarano et al., 2007), o descritas como especies novedosas, como *Lu. velezi* (Bejarano et al., 2010). Otras han sido reportadas por primera vez en ciertas áreas del país como *Lutzomyia scorzai* y *Lutzomyia reburra* en Antioquia, *Lutzomyia yuilli* y *Lutzomyia triramula* en Caldas (Vergara et al., 2008a; Vergara et al., 2008b) y *Lu. ovallesi* en Amazonas (datos no publicados).

Ahora bien, no solo se ha generado conocimiento sobre la presencia de una especie en un foco, también sobre la biodistribución, el comportamiento y la ubicación en relación con el hogar de estas especies. Así, se han detectado cambios en la distribución geográfica de algunas especies de vectores a lo largo del tiempo, lo cual requiere adaptabilidad tanto al entorno urbano como a áreas novedosas. Tal es el caso de *Lu. longipalpis*, que había sido reportada a una altitud máxima de 1.100 msnm hasta 2006, cuando se identificó esta especie en la región andina

del país (Caldas) a 1.387 msnm. Este fue el segundo informe mundial sobre la prevalencia de esta especie a mayor altitud (Acosta et al., 2013).

Si bien se ha descubierto que la actividad picadora de los insectos vectores es crepuscular y nocturna, estas especies tienen horas de actividad variables. Por ejemplo, en Montebello, Antioquia *Lu. gomezi* tiene una mayor actividad de picadura de 6 a 8 pm. En la vereda La Guaira del Valle del Cauca, se ha identificado que *youngi* tiene una mayor actividad de picadura entre las 7 y las 9 pm (Alexander et al., 1995). *Lu. evansi*, en San Andrés de Sotavento, ha aumentado la actividad de picadura desde las 11 pm hasta la 1 am (Vélez et al., 1995). Especificar las horas de mayor picadura es importante para la selección de la medida de control que se utilizará.

Se han identificado variaciones estacionales en la densidad de vectores. Por ejemplo, en los países subtropicales se ha encontrado que el periodo de mayor actividad de un vector corresponde a los meses más cálidos del año. En Francia se ha encontrado que *Ph. ariasi* está activo de junio a septiembre, la densidad más alta fue identificada a finales de julio (Killick-Kendrick et al., 1984); sin embargo, después de examinar la edad fisiológica de los insectos, se encontró que la mayor proporción de hembras paridas y las infecciones naturales por *Leishmania* ocurrieron en agosto y principios de septiembre. En las regiones tropicales, y especialmente en Colombia, se ha encontrado que el periodo de mayor riesgo corresponde a la temporada de lluvias, como se puede observar en los casos en San Andrés de Sotavento, Córdoba (*Lu. evansi*) (Travi et al., 1990), Montebello, Antioquia (*Lu. gomezi*) (Vélez et al., 1991) y Acandí, Chocó (*Lu. panamensis* y *Lu. trapidoi*) (Carrillo et al., 2013). Al final de esta temporada también se ha determinado que la tasa de hembras paridas y las infecciones naturales por *Leishmania* son significativamente más altas. En la zona de Urabá se ha identificado una tendencia a la disminución de vectores durante el fenómeno "El Niño", contrario a lo reportado por Cárdenas et al. (2006).

Una forma de control de los vectores podría estar encaminada a los criaderos de las *Lutzomyias*. Un estudio realizado en Ovejas, Sucre, demostró que el uso de cal puede controlar los lugares de cría de estos insectos, para lo cual se debe aplicar este producto en el suelo de los posibles criaderos, por ejemplo árboles de buen tamaño como las ceibas y el uvito, y pintar la base de los árboles con una solución de cal y agua (Estrada et al., 2020).

Durante periodos más prolongados se han observado brotes de enfermedades (por ejemplo en Montebello, San Roque y Saiza) que corresponden a la confluencia de múltiples factores, como la presencia de reservorios infectados y la abundancia de vectores. En todos estos brotes se encontró que la transmisión ocurrió en el intra y peridomicilio, con niños muy afectados y sin diferencia de género identificada. Además, los humanos fueron identificados como un posible reservorio debido a la gran cantidad de lesiones activas presentes en un momento dado y al alto número de picaduras. Los factores climáticos, como el fenómeno de “La Niña”, que se caracteriza en Colombia por la temporada de lluvias, podrían contribuir a la aparición de mayores densidades de vectores y brotes; sin embargo, se necesitan estudios que confirmen esta hipótesis.

Finalmente, en cuanto al estudio de reservorios, hay suficiente evidencia a nivel mundial sobre el papel del perro como reservorio de LV; por el contrario, aún no hay claridad sobre los reservorios tanto domésticos como silvestres para LC. Para entender el papel de los reservorios en la epidemiología de las enfermedades infecciosas, y en particular de la leishmaniasis, es necesario remitirse a conceptos complejos como los expuestos por Ashford (2003) y Haydon et al., (2002), quienes dejan a un lado la idea de linealidad o protagonismo de una especie como reservorio de una enfermedad. Además, es necesario ampliar el concepto a un

sistema ecológico, pues este permite la perpetuación de un agente. Así, puede haber diferentes especies de hospederos reservorios que forman redes de multihospederos en las que varias poblaciones de animales están conectadas en uno o varios ambientes ecológicos.

De acuerdo con un metaanálisis realizado por los autores de los estudios que reportan especies infectadas hasta el año 2014, se han encontrado 119 especies positivas; la más frecuentemente reportada y estudiada es *D. marsupialis*. Este alto número de especies positivas da cuenta de la posibilidad de una red de poblaciones que facilitan que este parásito persista y se mantenga en una región.

En un estudio reciente realizado en zarigüeyas (*D. marsupialis*) y perros (*C. familiaris*) en dos zonas ecológicas diferentes, una selvática y otra semiurbana, en donde circula *L. panamensis*, se sugirió que los perros se comportan como hospederos accidentales, dada su baja tasa de infección. Sin embargo, su papel se torna más preponderante en los ambientes semiurbanos en donde se encontró una positividad significativamente más alta. De manera contraria, las zarigüeyas mostraron ser más importantes en el ciclo silvestre, aunque se mantuvieron en una positividad significativa en el área semiurbana.

Son necesarios más estudios para tener un mejor entendimiento de la compleja relación de los reservorios en la ecoepidemiología de esta enfermedad.

5. Conclusiones

La leishmaniasis es una enfermedad zoonótica compleja de origen multifactorial en la que interactúan diferentes especies de parásitos con los reservorios, los vectores y los factores ecológicos y sociales. Por ello, un

abordaje que logre la prevención y control debe hacerse de la misma manera, es decir, usando métodos holísticos y multifactoriales de pensamiento complejo. El método ecoepidemiológico parece dar respuesta a esa necesidad, ya que proporciona un enfoque multidisciplinar para comprender la heterogeneidad y el dinamismo de los focos de transmisión de la leishmaniasis.

La aplicación del método ecoepidemiológico permite entonces que los siguientes procesos ocurran en los focos naturales de transmisión: (a) identificación de la especie de *Leishmania* y el posible papel de los flebotomíneos y los reservorios domésticos y silvestres; (b) definición de la geografía, áreas o macrofocos y descripción de las características ambientales que pueden convertirse en marcadores ecológicos de la presencia de un vector (temperatura, vegetación, tipo de suelo y altitud); (c) establecimiento de la época del año (espacio-temporal) asociada a un mayor riesgo de transmisión basado en las tasas de infección natural y actividad de picadura; (d) establecimiento, con respecto a la vivienda (microfoco), del riesgo de contagio para los habitantes en el intra, peri y extradomicilio; (e) determinación de los grupos etarios más afectados o con mayor riesgo de enfermarse dentro de una comunidad y (f) identificación de las concepciones, actitudes y prácticas en las comunidades relacionadas con la enfermedad.

Esta información permite establecer con mayor eficacia los programas de prevención y control de la leishmaniasis. Por ejemplo, cuando se determina a través del estudio de foco que hay transmisión intradomiciliaria, las medidas a adoptar son la fumigación de las casas y el uso adecuado de mosquiteros (con agujeros pequeños, pues en caso contrario el vector puede pasar a través de él). También se debe incluir un proceso de formación con la comunidad a propósito del manejo del mosquitero, especialmente cuando estos están impregnados con insecticidas, que

es lo más recomendable, pues el lavado permanente afecta el efecto residual de los mismos. Aunque se sabe que en el país hay una buena aceptación a estas medidas de control, se ha encontrado que en algunas zonas del país, como el Chocó, el color azul de los mosquiteros tiene mayor aceptación, pues el blanco, que es más común, se asocia con la manta que cubre a los muertos en ceremonias fúnebres. De la misma manera, es importante el diagnóstico y tratamiento rápido, así como impedir la picadura del vector en lesiones de humanos y mascotas, pues podrían infectarse fácilmente y generar una transmisión cercana.

En cuanto a las transmisiones extradomiciliarias, el uso de repelentes y de ropa adecuada, así como la educación primaria en salud, son la mejor alternativa. Sin embargo, la sostenibilidad de estas medidas depende de la colaboración y apoyo intersectorial (municipal/departamento de salud) y de la participación activa de la comunidad. Dado que esta es una enfermedad de poblaciones alejadas, principalmente rurales y empobrecidas, no ha habido interés en las entidades privadas y los programas gubernamentales han sido deficientes. Por esto se ha dificultado el control de esta importante enfermedad que recorre casi todo el territorio nacional y afecta a miles de personas al año.

Referencias bibliográficas

- Abadías-Granado, I., Diago, A., Cerro, P. A., Palma-Ruiz, A. M. & Gilaberte, Y. (2021). Cutaneous and Mucocutaneous Leishmaniasis. *Actas dermo-sifiliográficas*.
- Ariza, E. Y., López, C. M., Martínez, O. & Arias, S. A. (2004). Ecoepidemiología: el futuro posible de la epidemiología. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 22(1), 139-145
- Acosta, L. A., Mondragón-Shem, K., Vergara, D., Vélez-Mira, A., Cadena, H. & Carrillo, L. M. (2008) Change in the composition and distribution of the species of *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae) in ten years in the central western region of Colombia.

(Poster). 6th International Symposium on Phlebotominae Sandflies. 27 - 31 de Octubre de 2008. Lima, Perú.

- Acosta, L. A., Mondragón-Shem, K., Vergara, D., Vélez-Mira, A., Cadena, H. & Carrillo, L. M. (2013). Expansion of the distribution of *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912) (Diptera: Psychodidae) in the department of Caldas: Increased risk of visceral leishmaniasis. *Biomédica*, 33(2), 319-25.
- Akhoundi, M., Kuhls, K., Cannet, A., Votýpka, J., Marty, P., Delaunay, P., & Sereno, D. (2016). A historical overview of the classification, evolution, and dispersion of Leishmania parasites and sandflies. *PLoS neglected tropical diseases*, 10(3), e0004349.
- Alexander, B., Usma, M. C., Cadena, H., Quesada, B. L., Solarte, Y., Roa, W., ... & Travi, B. L. (1995). Phlebotomine sandflies associated with a focus of cutaneous leishmaniasis in Valle del Cauca, Colombia. *Medical and Veterinary Entomology*, 9(3), 273-278.
- Alvar J, Vélez ID, Bern C, Herrero M, Desjeux P, Cano J, Jannin J, den Boer M; WHO Leishmaniasis Control Team. (2012). Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. *PLoS One* 7(5):e35671. doi: 10.1371/journal.pone.0035671.
- Ashford R.W. (2003). When is a reservoir not a reservoir?. *Emerg Infect Dis*, 9(11):1495–6
- Bejarano, E. E., Castro, M., Perez-Doria, A., Hernandez-Oviedo, E., Vélez, A. & Vélez, I. D. (2007). First Report of *Lutzomyia Franca* in the department of Guainia, Amazonian Colombia, and of *Brumptomyia mesai* Sherlock (Diptera: Psychodidae) in the Colombian Caribbean Coast. *Neotropical entomology*, 36(6):990–3.
- Bejarano, E. E. & Estrada, L. G. (2016). Family Psychodidae. *Zootaxa*, 4122(1), 187-238.
- Bejarano, E. E., Vivero, R. J. & Uribe, S. (2010). Description of *Lutzomyia velezi*, a new species of phlebotomine sand fly (Diptera: Psychodidae) from the Department of Antioquia, Colombia. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 105(3), 322-325.
- Carrillo, L.M., Cadena, H., Acosta, L.A., Mondragom-Shem K., Vélez A., Agudelo D., Perez, J.E. & Veles, I.D. (2013) Ecoepidemiology study of cutaneous leishmaniosis in the in Colombian Darien región (poster). FifthWorldleish, 13-17 mayo de 2013. Porto Galihnas, Brazil.
- Carrillo-Bonilla, L. M., Trujillo, J. J., Álvarez-Salas, L. & Vélez-Bernal, I. D. (2014). Study of knowledge, attitudes, and practices related to leishmaniasis: Evidence of government neglect in the Colombian Darién. *Cadernos de saúde pública*, 30(10), 2134-214.

- Contreras, MA., Hoyos, R., Mondragón, K., Cadena, H., Vivero, RJ., Valencia, A., Rocha RL., Torres-Gutierrez C. (2010). Entomología. En *Manual de procedimientos para el diagnóstico y control de la Leishmaniasis en Centroamérica. Establecimiento y mantenimiento de colonias de flebotomíneos en condiciones de laboratorio* (pp. 47-71). Universidad de Antioquia.
- Contreras, M. A., Vivero, R. J., Bejarano, E. E., Carrillo, L. M. & Vélez, I. D. (2012). New records of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) near the Amoya River in Chaparral, Tolima. *Biomédica*, 32(2), 263-8.
- Cárdenas, R., Sandoval, C. M., Rodríguez-Morales, A. J. & Franco-Paredes, C. (2006). Impact of climate variability in the occurrence of leishmaniasis in northeastern Colombia. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 75(2), 273-277.
- Estrada, L. G., Ortega, E., Vivero, R. J., Bejarano, E. E., & Cadena, H. (2020). Development of *Lutzomyia evansi* immature stages in peridomiliary environment in a leishmaniasis urban focus in the Colombian Caribbean. *Acta Tropica*, 208, 105523.
- Galati, E. A. B. (2003). Classificação de Phlebotominae In: Rangel EF, Lainson R, editores. *Flebotomíneos do Brasil*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 23-51.
- Galati, E. A. B. (2019). Classificação morfologia e terminologia e identificação de adultos Vol. I. *Apostila Disciplina HEP*, 5752, 01246-904
- Grimaldi, G. Jr, Tesh, R.B. & McMahon-Pratt, D. (1989) A review of the geographic distribution and epidemiology of leishmaniasis in the New World. *Am J Trop Med Hyg*, 41(6):687-725.
- Haydon, D. T., Cleaveland, S., Taylor, L. H. & Laurenson, M. K. (2002). Identifying reservoirs of infection: a conceptual and practical challenge. *Emerging infectious diseases*, 8(12), 1468-1473.
- Hong, A., Zampieri, R. A., Shaw, J. J., Floeter-Winter, L. M. & Laranjeira-Silva, M. F. (2020). One health approach to leishmaniasis: Understanding the disease dynamics through diagnostic tools. *Pathogens*, 9(10), 809.
- Killick-Kendrick, R., Rioux, J. A., Ratify, M., Guy, M. W., Wilkes, T. J., Guy, F. M., ... & Durois, H. (1984). Ecology of leishmaniasis in the south of France-20. Dispersal of Phlebo-

tomus ariasi Tonnoir, 1921 as a factor in the spread of visceral leishmaniasis in the Cévennes. *Annales de parasitologie humaine et comparee*, 59(6), 555-572.

Manotas-Berdugo, H., Maldonado, J. F. T., Rodríguez-Rodríguez, J. & Salgado-García, D. (2018). Urban outbreak of leishmaniasis in Colombia. *Revista de Salud Pública*, 20(1), 89

Montalvo Alvarez, A. M., Nodarse, J. F., Goodridge, I. M., Fidalgo, L. M., Marin, M., Van Der Auwera, G., ... & Muskus, C. (2010). Differentiation of *Leishmania* (*Viannia*) *panamensis* and *Leishmania* (*V.*) *guyanensis* using Bcc I for hsp 70 PCR-RFLP. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 104(5), 364-367.

Rioux, J. P., Lanotte, G., Petterb, F., Derreure, J., Akalay, O., Pratlong, F., ... & Serres, E. (1986). The cutaneous leishmaniasis in the Western Mediterranean basin. From the enzymatic identification to the eco-epidemiological analysis. *The example of three "focus" Tunisian, Moroccan and French. Leishmania. Taxonomy and phylogeny. Applications eco-epidemiological*, Rioux JA (ed). IMEEE, Montpellier, 365-395.

Pavlovsky, E. (1988). Natural nidity of transmissible diseases in relation to landscape epidemiology of zoonthroponoeses. *The Challenge of Epidemiology*, 401-405

Penman, A. D. & Johnson, W. D. (2009). Complementary log-log regression for the estimation of covariate-adjusted prevalence ratios in the analysis of data from cross-sectional studies. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, 51(3), 433-442.

Reimão, J. Q., Coser, E. M., Lee, M. R. & Coelho, A. C. (2020). Laboratory Diagnosis of Cutaneous and Visceral Leishmaniasis: Current and Future Methods. *Microorganisms*, 8(11), 1632.

Roque, A. L. R. & Jansen, A. M. (2014). Wild and synanthropic reservoirs of *Leishmania* species in the Americas. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 3(3), 251-262.

Serafim, T. D., Iniguez, E. & Oliveira, F. (2020). *Leishmania infantum*. *Trends in parasitology*, 36(1), 80-81.

Silva, G. A. R. D., Boechat, T. D. O., Ferry, F. R. D. A., Pinto, J. F. D. C., Azevedo, M. C. V. M. D., Carvalho, R. D. S., ... & Veras, M. F. (2014). First case of autochthonous human

visceral leishmaniasis in the urban center of Rio de Janeiro: case report. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo*, 56(1), 81-84.

Travi, B. L., Vélez, I. D., Brutus, L., Segura, I., Jaramillo, C., & Montoya, J. (1990). *Lutzomyia evansi*, an [alternative] vector of *Leishmania chagasi* in a Colombian focus of visceral leishmaniasis. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 84(5), 676-677.

Vélez I. D. (2000) Leishmaniasis in Colombia. Conceptions, Attitudes and practices in indigenous and peasant communities. In: Proceedings 3rd Chilean Congress of Anthropology. Tomo I. Lom editions.

Vélez I. D. & Agudelo, S.P. (1996) Manual of procedure for diagnosis of American cutaneous leishmaniasis. Editorial University of Antioquia.

Vélez, I. D., Carrillo, L. M., Muskus, C. & Robledo, S. M. (2017). Application of the eco-epidemiological method in the study of leishmaniasis transmission foci. In *The Epidemiology and Ecology of Leishmaniasis*. InTech.

Vélez, I. D., Gallego, J. I., Adarve, J. C., Llano, R., Trujillo, G. A., Alzate, A. M., ... & Travi, B. L. (1995). Ecoepidemiological delimitation of visceral leishmaniasis in the Caribbean Colombian coast. *Malaria y San Amb*, 35, 359-70.

Vélez, I. D., Hendrickx, E., Robledo, S. M. & del Pilar Agudelo, S. (2001). Gender and cutaneous leishmaniasis in Colombia. *Cadernos de saúde pública*, 17(1), 171-180.

Vélez B, I. D., Ospina, S., Henao, G., Lepape, P., Correa, M., Wolff, M. & Jaramillo, L. (1987). Epidemiología de la leishmaniasis cutánea en San Roque, Antioquia, 1987. *Bol. epidemiol. Antioq*, 354-9.

Vélez, I., Robledo, S., Torres, C., Carrillo, L., López, L. & Uribe, S. (2010). *Manual de procedimientos para el diagnóstico y control de la Leishmaniasis en Centroamérica*. Universidad de Antioquia y PECET. ISBN 978-958-714-389-8

Velez, B. I. D., Travi, B. L., Gallego, J., Palma, G. L., Agudelo, S. P., Montoya, J., ... & Llano, R. (1995). Ecoepidemiological evaluation of visceral leishmaniasis in the native Zenu community of San Andres de Sotavento, Cordoba: first step for its control. *Revista Colombiana de-Entomologia*, 21(3), 111-122.

- Vélez, I. D., Wolff, M., Valderrama, R., Escobar, J. P. & Osorio, L. (1991). Community and environmental risk factors associated with cutaneous leishmaniasis in Montebe- llo, Antioquia, Colombia. In *Leishmaniasis Control Strategies: a Critical Evaluation of IDRC Supported Research; proceedings of a workshop held in Mérida, Mexico, Nov. 25-29, 1991*. IDRC, Ottawa, ON, CA.
- Vergara, D., Carrillo, L. M., Bejarano, E. E. & Vélez, I. D. (2008a). First record of *Lutzomyia yuilli* Young & Porter, 1972 and *Lutzomyia triramula* (Fairchild & Hertig 1952)(Dip- tera: Psychodidae) in Caldas departament, Colombia. *Biota Neotropica*, 8(3), 251– 253.
- Vergara, D., Bejarano, E. E., Carrillo, L. M., Sierra, D., & Vélez, I. D. (2008b). Primer registro de *Lutzomyia scorzai* y *Lutzomyia reburra* (Diptera: Psychodidae) en Antioquia, Co- lombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 34 (1): 102-104
- Young, D. G. & Duncan, M. A. (1994). *Guide to the identification and geographic distribution of Lutzomyia sand flies in Mexico, the West Indies, Central and South America* (Diptera: Psychodidae). WALTER REED ARMY INST OF RESEARCH WASHINGTON DC.
- WHO. (2010). Report of a meeting of the WHO Expert Committee on the Control of Leishmaniases, Geneva, Switzerland, 22-26 March 2010. *WHO technical report se- ries*, (949)





Capítulo 8.

Uso de espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS para predecir algunas propiedades químicas de los suelos en Antioquia

Manuela Ortega-Monsalve

Zoot., Estudiante de MSc, Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA)

Mario Fernando Cerón-Muñoz

Zoot. MSc, DrSc, Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA), Universidad de Antioquia

Marisol Medina-Sierra

Ing. Agron, MSc, DrSc, Grupo de Investigación en Agrociencias, biodiversidad y territorio (GAMMA) Universidad de Antioquia

Resumen

Los análisis químicos en suelos son una herramienta que proporciona información importante sobre los nutrientes presentes y permite corregir los excesos o deficiencias mediante planes de fertilización; sin embargo, son métodos costosos y demorados ya que requieren la utilización de reactivos químicos y de diferentes procesos. En la actualidad se busca utilizar técnicas no destructivas, rápidas y precisas que permi-

tan obtener resultados fácilmente; tal es el caso de la espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS. En este capítulo se realiza una descripción del uso del NIRS para predecir las propiedades del suelo. Se relata la forma de procesar la muestra para la lectura, la extracción de los espectros y se describen las metodologías estadísticas para la calibración. También se desarrolla un ejemplo de calibración del equipo para materia orgánica utilizando muestras de una amplia gama de suelos de diferentes municipios del departamento de Antioquia. Estas muestras se analizan por el método de regresiones por mínimos cuadrados parciales. El uso del NIRS en conjunto con diferentes modelos estadísticos son una alternativa tecnológica que permite obtener resultados de una forma más rápida y sin la utilización de reactivos químicos que contaminen el ambiente.

Palabras clave: *absorbancia, machine learning, métodos ópticos, reflectancia, regresiones parciales, pedología, componentes principales*

I. Introducción

Los análisis de suelo por química húmeda (qh) son comúnmente utilizados para determinar las propiedades químicas. Su fin es conocer las deficiencias o excesos de minerales, corregirlas y mejorar la productividad de los cultivos. La qh sigue siendo un método costoso y de difícil acceso para muchos productores, pero la implementación de nuevas tecnologías y métodos de análisis en suelos han permitido mejorar dichos procesos. Así, se obtienen resultados más rápidos y a menor precio debido a que no son destructivos ni requieren uso de reactivos químicos. Una de las técnicas no invasivas es la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés), la cual funciona por medio de ondas en la región del infrarrojo entre la longitud de onda de los 780 a 2.500 nm, que

en su mayoría no son percibidas por el ojo humano (Givens et al., 1997). Estas longitudes pueden reconocer los enlaces químicos como los N-H, S-H, C=O y O-H de los compuestos principalmente orgánicos presentes en el suelo (Guerrero et al., 2008). Este método ha sido utilizado para determinar la composición y calidad de algunos productos y para monitorear algunos procesos químicos y biológicos (D’Mello, 2000).

El NIRS ha sido descrita por He et al. (2007), Macias et al. (2015), Gandariasbeitia et al. (2017) y Mohamed et al. (2018) como una buena alternativa en la agricultura de precisión para analizar las propiedades del suelo en tanto es un método fácil, útil y de bajo costo. Una de las mayores ventajas del método NIRS es que por medio del espectro obtenido de una sola muestra se pueden analizar simultáneamente propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Nduwamungu et al., 2009). Algunas de sus ventajas más importantes son la rapidez con la que se realizan los análisis, no genera residuos químicos, requiere menos mano de obra ya que realiza varios análisis al mismo tiempo, luego de su calibración es muy fácil de manejar y sus análisis tienen un bajo costo (Rivera et al., 2018; Nie et al., 2018).

Los parámetros del suelo más estudiados por medio del NIRS corresponden principalmente a la materia orgánica (MO), el nitrógeno (N), el fósforo (P) el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg), el pH y el contenido de arcilla. En estos se han obtenido buenos resultados, excepto en minerales como el fósforo y el potasio (He et al., 2007; Gandariasbeitia et al., 2017) ya que muchas veces no se encuentran ligados a otros enlaces y no son detectables ante las ondas del NIRS. Los rangos espectrales en los cuales se puede analizar el contenido de MO se encuentran entre los 379 y 2.500 nm (Rodríguez et al., 2015) —el cual puede ser un dato de gran interés ya que está ligado a la fertilidad de los suelos—. El uso del NIRS para la predicción de algunas propiedades del suelo tiene

varias implicaciones positivas en el proceso de análisis y en los resultados finales debido a que la calibración, validación y uso de ecuaciones o modelos permitirán analizar dichas propiedades en gran número de muestras. Para ello se requiere crear ecuaciones de predicción para cada una de las características o propiedades que se desea analizar (Rivera et al., 2018).

Los modelos más utilizados para predecir las propiedades del suelo por medio de NIRS son: la regresión lineal múltiple escalonada (SMLR, por sus siglas en inglés), la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR, por sus siglas en inglés), la regresión adaptativa multivariante splines (MARS, por sus siglas en inglés), la regresión sobre componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) y las redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés). Sin embargo, Geladi (2003) y Tinti et al. (2015) concluyeron que los análisis PCA y PLSR son mucho más adecuados para examinar espectros debido a que o convierten un conjunto de variables altamente correlacionadas en un conjunto de variables independientes o reducen la dimensionalidad de los datos extrayendo las variables más importantes. En la Tabla 1 se observa un resumen de artículos científicos que evaluaron diversas metodologías estadísticas para relacionar los parámetros del suelo con los resultados del NIRS.

El objetivo de este capítulo es realizar una descripción del uso del NIRS para predecir las propiedades del suelo. Se relata la forma de procesar la muestra para la lectura, la extracción de los espectros y se describen las metodologías estadísticas para la calibración. También se desarrolla un ejemplo de calibración del equipo para materia orgánica utilizando muestras de una amplia gama de suelos de diferentes municipios del departamento de Antioquia, las cuales fueron analizadas por el método de regresiones por mínimos cuadrados parciales.

Tabla 1. Comparación de metodologías estadísticas para relacionar los parámetros del suelo obtenidos por química húmeda y por infrarrojo cercano NIRS

Parámetro	R2	Rango espectral (nm)	Modelo estadístico	Número de muestras	Referencia
Materia orgánica	0,96	993, 1.080, 1.951 y 2.277	PCA y PLSR	165	He et al., 2007
	0,99	450 y 600	RPD	-	Yarce & Castillo, 2014
	0,90	379 - 780 y 780 - 1.800	PLSR	72	González et al., 2020
	0,62	-	MPLS	281	Macías et al., 2015
	0,96	750 y 2.400	PLSR	147	Gandariasbeitia et al., 2017
	0,91 y 0,86	497, 503, 504, 1.888, 1.393, 1.392, 479, 482 y 487	AdaBoost	69	Wei et al., 2020
	0,90	-	PCA y PLSR	130	Lin et al., 2018
Nitrógeno	0,93	902, 2.364, 1.826 y 2.098	PCA y PLSR	165	He et al., 2007
	0,96	928, 960 y 1.638, 1 680	PLSR	-	Nie et al., 2018
Nitrógeno total	0,91	750 y 2.400	PLSR	147	Gandariasbeitia et al., 2017
	0,88	-	PCA	156	Gates, 2018
pH	0,91	-	PCA y PLSR	165	He et al., 2007
	0,96	1.850 y 2.350	PLSR	147	Gandariasbeitia et al., 2017
	0,92 y 0,93	1.000 y 2.500	PCA y PLSR	40	Munawar et al., 2020
Carbono orgánico	0,97	830 y 2.630	PCA	>500	Guerrero et al., 2008
Arcilla	0,66	2.200	PLSR	237	Summers et al., 2011
	0,91	2.200, 2.400, 2.500, 1.443, 2.231, 2.323, 6.53, 895, 1.133	MLR	184	Nanni & Dematte, 2006
Limo	0,68	840	PLSR y MLR	-	Selige et al., 2006
	0,57	520 - 600, 630 - 690	-	144	Sousa et al., 2011
Arena	0,87	2.202, 2.238, 2.322, 2.371	PLSR y MLR	-	Selige et al., 2006
	0,84	760 - 860, 2.145 - 2.525, 2.235 - 2.285	-	144	Sousa et al., 2011
Carbonatos	0,69	2.300	PLSR	228	Summers et al., 2011

Fósforo	0,93 y 0,99	1.000 y 2.500	PCA y PLSR	40	Munawar et al., 2020
Potasio	0,48	-	PLSR	165	Cobo et al., 2010
	0,71	1.906, 2.217 y 2.279	PCA y PLRS	165	He et al., 2007
Calcio	0,85	-	PLSR	130	Awiti et al, 2008
Magnesio	0,76	-	PLSR	130	Awiti et al, 2008
	0,91	-	PCA y PLSR	40	Munawar et al., 2020

R2: Coeficiente de determinación, **PCA:** regresión sobre componentes principales, **PLSR:** regresión de mínimos cuadrados parciales, **RPD:** diferencia de predicción residual, **MPLS:** método de regresión de mínimos cuadrados modificados, **MLR:** regresión lineal múltiple y **AdaBoost:** algoritmo boosting

Fuente: adaptado de Schapire (1990)

2. Metodología

2.1. Análisis por química húmeda

Cada muestra de suelo se divide en dos, una parte para ser analizada por el NIRS y la restante por qh. En este caso, cada una de las muestras fue enviada al laboratorio de química analítica de Agrosavia, donde se realizó un análisis físico-químico completo y se determinó además el contenido de Nitrógeno total y el porcentaje de Cadmio (% Cd) (Tabla 2). También se realizó un análisis para determinar la densidad aparente del suelo y se recibieron recomendaciones de fertilización, las cuales se entregaron a los productores de los predios.

2.2. Proceso de obtención de muestras y preparación de muestras para lectura del NIRS

La toma de muestras de suelo en campo se realizó por medio de un equipo de personas capacitadas, quienes hicieron el muestreo dependiendo de la topografía del terreno. Se obtuvo una muestra compuesta,

Tabla 2. Métodos utilizados para análisis de suelos dedicados a cultivos

Determinación analítica	Unidad	Método
Porcentaje de arena (% A)	g/100 g	Método de Bouyoucos
Porcentaje de arcilla (% Ar)	g/100 g	Método de Bouyoucos
Porcentaje de limo (% L)	g/100 g	Método de Bouyoucos
Clase textural	No aplica	Método de Bouyoucos
Cadmio (Cd) pseudo total	mg/kg	Digestión ácido nítrico-clorhídrico/ ICP
pH (1:2, 5)	Unidades de pH	GA-R-046, versión 05 de 2019-10-02
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	NTC 5596.2008 Método b. Medición en suspensión suelo
Materia orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkley Black
Carbono orgánico (CO)	g/100g	GA-R-119 V2 2019-09-20
Fósforo (P) disponible (Bray II)	mg/kg	GA-R-048. Versión 05 de 2019-10-02
Nitrógeno total (NT)	g/100g	Kjeldahl
Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio
Cap Interc Cation Effect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo
Boro (B) disponible	mg/mk	Fosfato monobásico de calcio
Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl
Aluminio (Al) intercambiable	cmol(+)/kg	KCl
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	GA-R-050 versión 7 de 2019-10-02
Magnesio (Mg) disponible	cmol(+)/kg	GA-R-050 versión 7 de 2019-10-02
Potasio (K) disponible	cmol(+)/kg	GA-R-050 versión 7 de 2019-10-02
Sodio (Na) disponible	cmol(+)/kg	GA-R-050 versión 7 de 2019-10-02
Hierro (Fe) olsen disponible	mg/kg	NTC 5526:2007
Cobre (Cu) olsen disponible	mg/kg	NTC 5526:2007
Manganeso (Mn) olsen disponible	mg/kg	NTC 5526:2007
Zinc (Zn) olsen disponible	mg/kg	NTC 5526:2007

Fuente: elaboración propia

resultado de la mezcla de ocho submuestras, lo cual permite obtener información promedio de la fertilidad del lugar (Gómez, 2013). La profundidad del muestreo fue de 20 cm y se realizó con la ayuda de un barreno. La muestra fue empacada en bolsas *ziploc* y marcada con los datos más relevantes para el análisis (nombre del municipio, nombre del predio y cultivos establecidos).

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron muestras de suelo en diferentes municipios del departamento de Antioquia, en predios dedicados principalmente a la producción de leche, carne, cacao y flores. Las muestras pertenecen al proyecto Cedait (Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico de Innovación e Integración Territorial, El Carmen de Viboral, Antioquia) y fueron recolectadas dentro del componente Sistema Experto.

2.2.1. Secado de las muestras de suelo

Las muestras de suelo se secan al aire libre y en un horno de ventilación forzada, según los parámetros descritos en la norma NTC-ISO 11464 de 1995. Estas se secan completamente, hasta que la masa perdida sea máxima de 5% de masa (m/m) en 24 horas.

Para acelerar el proceso de secado se disgregan los terrones mayores a 15 mm. Cuando las muestras se secan al aire se trituran un poco con la mano, con un mazo de madera o un mortero. El mismo procedimiento se debe seguir cuando las muestras se secan en el horno.

- *Secado al aire libre:* se esparce todo el material en una capa de espesor menor a 15 mm sobre papel kraft o bandejas de plástico (Figura 1). Se debe evitar la luz solar directa, ya que puede crear diferencias de temperatura en la muestra.



Figura 1. Muestras de suelo secados al aire libre
(Fuente: archivo del Proyecto)

- *Secado en estufa:* se esparce todo el material en una capa de espesor menor a 15 mm sobre una bandeja metálica que no absorba humedad y que no cause contaminación. Se pone la bandeja en la estufa (Memmert UF 750) y se seca a una temperatura máxima de 40°C (Figura 2); se recomienda esta temperatura para que el suelo no pierda propiedades. El secado se realiza hasta que el color del suelo sea uniforme y no se observen zonas húmedas (Zapata, 2021).



Figura 2. Muestras de suelo secando en horno de ventilación forzada
(Fuente: archivo del Proyecto)

2.2.2. Tamizado de las muestras de suelo

Antes de realizar este procedimiento se retiran las piedras, raíces y elementos extraños. Si las muestras de suelo se secan en terrones es necesario triturarlos con ayuda de un mazo. Se tamiza la muestra por medio de un tamiz de 2 mm, se tritura el material mayor a 2 mm y se vuelve a tamizar hasta obtener la cantidad necesaria (Figura 3). La fracción de 2 mm se homogeniza y se almacena en un frasco plástico. Se debe guardar otra muestra de igual tamaño como contramuestra.



Figura 3. Tamizado de las muestras de suelo con tamiz de malla de 2 mm
(Fuente: archivo del Proyecto)

2.2.3. Almacenamiento de las muestras de suelo

Luego de que el suelo quede tamizado se almacena en dos frascos de plástico previamente rotulados (su peso debe estar entre los 150 y 250 gramos) (Figura 4). De estos dos recipientes se sacan muestras más pequeñas para realizar la lectura en el equipo NIRS.

Las muestras de suelo se procesan en un equipo NIRS. Estos pueden adquirirse con diferentes marcas comerciales, por ejemplo: Analytical Spectral Devices Inc, Foss NIR system Denmark, Bruker Optik GmbH, ASD LabSpec, Veris Technology Incorporation, Isuzu Optics Corp y Ther-



Figura 4. Almacenamiento de las muestras de suelo en recipientes plásticos
(Fuente: archivo del Proyecto)

mo Nicolet Antaris II. Generalmente estos equipos contienen un rango espectral o longitud de onda que va desde los 350 a los 2.500 y desde los 850 a los 2.630 nanómetros aproximadamente y su tiempo de análisis es menor a 40 segundos, por lo cual son equipos altamente eficientes para determinar parámetros de interés.

En este caso se utilizó un equipo NIRS modelo FOSS DS 2500 F del Laboratorio Integrado de Nutrición Animal y de Pastos y Forrajes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia. Se analizaron 47 muestras para la toma del espectro; se utilizaron 20 gramos de cada una, contenido que se presionó con el dispositivo que trae el equipo con el objetivo de que quedara uniforme para su lectura (Figura 5). Luego de cada lectura se limpió la cubeta con un paño limpio y seco para eliminar los residuos de la muestra anterior.

3. Resultados: obtención de espectros y análisis estadístico

El NIRS genera los espectros para cada muestra analizada, en este caso el rango espectral se encuentra entre los 850 y 2.500 nanómetros (nm). La



Figura 5. Muestra de suelo preparada para su lectura en el equipo NIRS
(Fuente: archivo del Proyecto)

base de datos se exporta de 2 en 2 nanómetros en el software MOSAIC y se generan 825 columnas correspondientes a dicho rango de espectros. Los valores de absorbancia (au) y reflectancia (ref) se encuentran en un rango de 0,0 a 1,0

La base de datos puede ser analizada por ISIScan o por otro software estadístico, en este caso se utilizó R-project (R Core Team, 2021). Generalmente se realiza un análisis visual de los espectros para verificar inconsistencias en la forma de las curvas de cada muestra en el rango espectral; en la Figura 6, por ejemplo, se muestran dos gráficos de relación de los niveles de absorbancia y reflectancia con las longitudes de onda, los cuales se obtuvieron con la librería graphics de R Core Team (2021). Los espectros de absorbancia se convirtieron a reflectancia por medio de la ecuación $\log_{10}(1/\text{absorbancia})$.

.Después de verificar la calidad de los espectros se acoplan las bases de datos de los espectros con la base de datos de química húmeda y se

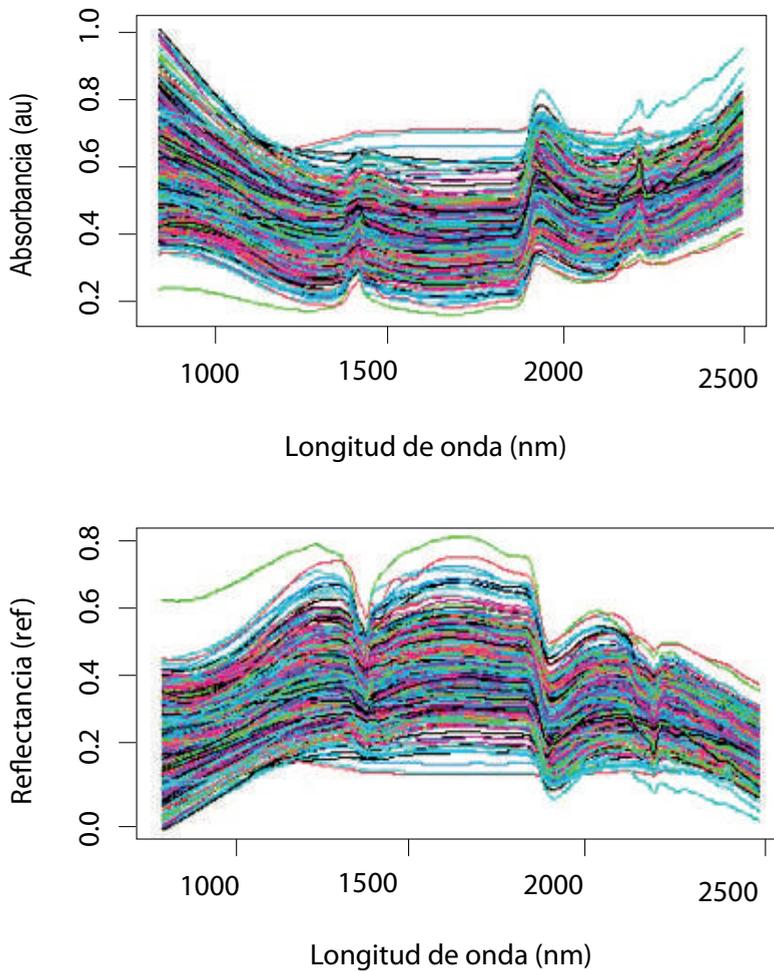


Figura 6. Relación de la absorbancia y la reflectancia con la longitud de onda para las muestras de suelos de Antioquia
(Fuente: elaboración propia)

procede a realizar el análisis con las metodologías descritas en la Tabla 1 o con otro tipo de metodologías, modelos y transformaciones que el investigador estime conveniente. Esta investigación desarrolló el análisis de relaciones para la variable MO a través de un análisis PLSR con cinco componentes, utilizando el comando `pls` de la librería `pls` (Bjorn-Helge et al., 2020). Este método de regresión es altamente utilizado en la es-

pectroscopía de infrarrojo cercano, ya que facilita la lectura de las líneas superpuestas del espectro (Bjorn-Helge & Wehrens, 2020). Adicionalmente, se trabajó la librería `mc2d` (Pouillot & Delignette-Muller, 2010) con el comando `rbern` (ensayos de bernoulli de una distribución bivariada) para dividir aleatoriamente la base en dos partes, una que contenga los datos para entrenamiento del modelo y otra con datos para probar el ajuste. También se puede utilizar directamente el argumento `validation = c("CV", "LOO")` del comando `pls` para la validación cruzada. En este caso se optó por dividir la base en dos. El principal objetivo de la validación de las muestras de suelo es obtener una ecuación adecuada que pueda predecir las propiedades de otras muestras a futuro (Givens et al., 1997; Cao, 2013).

Es muy común utilizar como indicadores de un buen ajuste del modelo en la base de datos para entrenamiento y prueba los valores del error cuadrático medio de predicción (MSEP), la raíz del error cuadrático medio de predicción (RMSEP) y el coeficiente de determinación múltiple de A.K.A. (R^2). Para este trabajo se obtuvieron respectivamente con los argumentos `MSEP`, `RMSEP` y `R2` de la librería `pls`. Se busca que el R^2 sea cercano a 1, que el `RPD` sea >2 y que el `RMSEP` sea bajo para que el análisis o modelo sea ajustable (Wei et al., 2020). En este caso se obtuvieron unos R^2 de 0,86 y 0,78, un `RMSEP` de 1,9 y 2,3 para el entrenamiento y la prueba y un `RPD` general de 2,39.

Los gráficos del análisis se pueden obtener por varios comandos y librerías, acá se utilizó el comando `validationplot` de la librería `lps` para visualizar la validación del `RMSEP` y R^2 , en función del número de componentes (Figura 7), y obtener el mayor ajuste del modelo utilizado. Se espera que cuando el R^2 es alto, el `RMSEP` sea bajo, esto significa que es el resultado esperado y que la diferencia entre los valores observados y predichos es baja. Con el comando `ggplot` de la librería `ggplot2` (Hadley,

2016) se puede graficar la relación de la información de química húmeda y las predicciones del NIRS con el método estadístico (Figura 8). Ambos se encuentran en el rango normal esperado para los valores de MO.

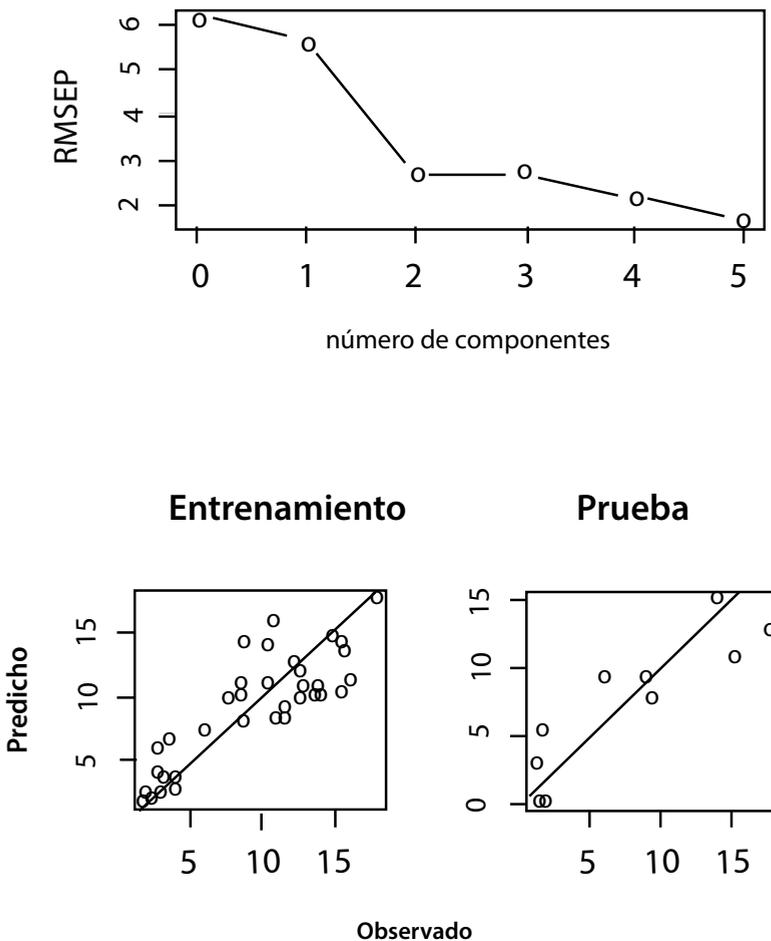


Figura 7. Gráficas de RMSEP vs número de componentes para la materia orgánica (%) y relaciones de los valores observados con los valores predichos por el modelo
(Fuente: elaboración propia)

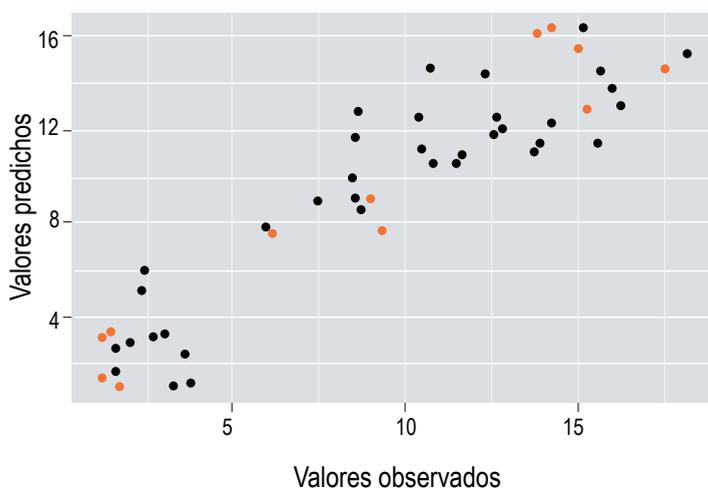


Figura 8. Relación entre los valores observados de la materia orgánica (%) obtenida por química húmeda y los valores predichos por regresión por mínimos cuadrados parciales utilizando las bases de datos para entrenamiento (negro) y la de prueba (rojo)
(Fuente: elaboración propia)

La Figura 9 presenta un flujograma en el que se resumen los procesos y procedimientos desde la toma de la muestra de suelo hasta la predicción por PLSR.

Yarce & Castillo (2014) realizaron una investigación en el centro de investigación de caña de azúcar de Colombia sobre validación no exhaustiva para la determinación de materia orgánica en suelos por medio de espectrofotometría UV- VIS, donde obtuvieron un coeficiente de determinación (R^2) de 0,99, por lo que concluyeron que el método evaluado cumplió con los criterios establecidos.

Un estudio realizado en China determinó el contenido de materia orgánica en el suelo a través de la espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIRS). Utilizaron 165 espectros para la etapa de calibración y validación

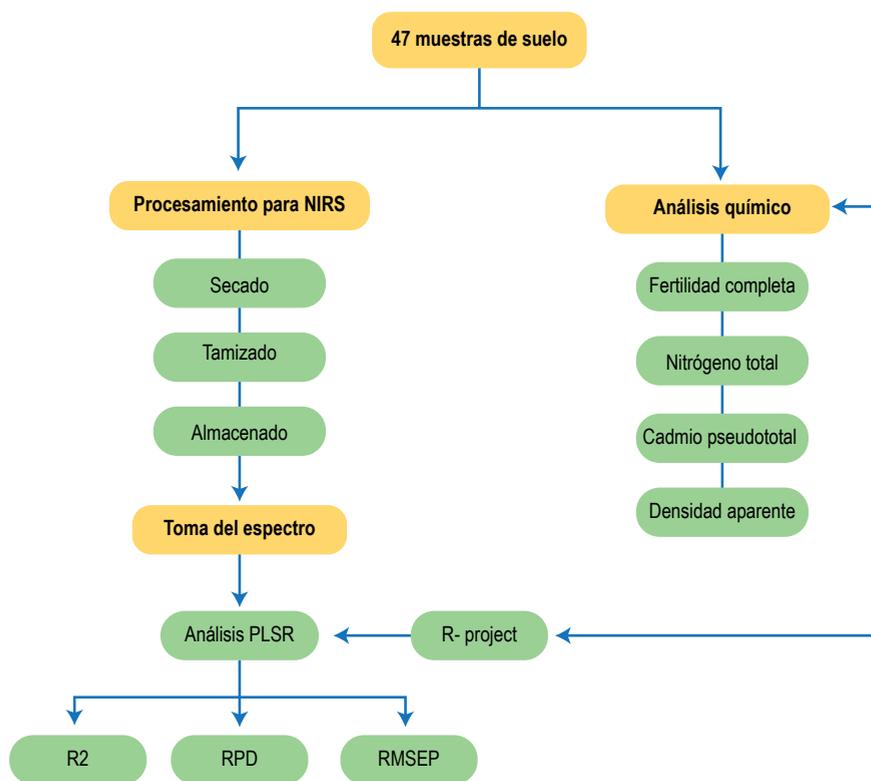


Figura 9. Esquema de la metodología empleada para el procesamiento y análisis de los suelos
(Fuente: elaboración propia)

y encontraron que el NIRS fue una buena alternativa al obtener un R^2 de 0,91 y un RMSEP de 0,12 para la materia orgánica; también se concluyó que el NIRS es una buena herramienta para avanzar en la agricultura de precisión (He et al., 2007).

También en China, Lin et al. (2018) utilizaron NIRS para predecir el contenido de materia orgánica por medio de transformaciones y encontraron un R^2 de 0,90, un RPD de 2,24 y un RMSEP de 0,21. Por ello, concluyeron que esta es una alternativa óptima para su determinación. Adicionalmente, se aplicaron distintos métodos para determinar el pretratamiento

to espectral, la selección de las muestras y el rango de longitud de onda para mejorar su precisión. Por otra parte, por medio de transformaciones y la utilización del análisis AdaBoost, Wei et al. (2020) encontraron una alta precisión con un R2 de 0,86 y un RMSEP de 0,72 para la materia orgánica presente en suelos agrícolas.

Macías et al. (2015) analizaron la materia orgánica por medio del NIRS y encontraron un R2 de 0,62 y un RPD de 1,8, lo que pudo deberse a la procedencia de las muestras de suelo. Estos resultados podrían mejorar aumentando el número de muestras utilizadas para la validación. Por último, Gandariasbeitia et al. (2017) encontraron un R2 de 0,96 y un RPD de 4,01 para la materia orgánica analizada por medio de NIRS y PCA, estos dos métodos podrían ser de gran utilidad para analizar grandes cantidades de muestras.

4. Conclusiones

El uso de la espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS es una buena alternativa para predecir la composición fisicoquímica. Es una metodología fácil de usar, económica y permite analizar muchas muestras de suelo en poco tiempo. Se requiere calibrar constantemente al aumentar el número de muestras y analizar por diversos procedimientos estadísticos cada componente del suelo.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto financiado por el Sistema General de Regalías vigente “Desarrollo y Establecimiento del Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico de Innovación e Integración Territorial, El Carmen de Viboral, Antioquia, Occidente” CEDAIT, Subcomponente Sistema Experto, código BPIN 2016000100060.

Referencias bibliográficas

- Awiti, A. O., Walsh, M. G., Shepherd, K. D. & Kinyamario, J. (2008). Soil condition classification using infrared spectroscopy: a proposition for assessment of soil condition along la tropical forest-cropland chronosequence. *Geoderma* 143:73-84.
- Bjørn-Helge, M. Wehrens, R. & Hovde Liland, K. (2020). pls: Partial Least Squares and Principal Component Regression. R package version 2.7-3. <https://CRAN.R-project.org/package=pls>
- Bjørn-Helge, M. & Wehrens, R. (2020). Introduction to the pls package. <https://cran.r-project.org/web/packages/pls/vignettes/pls-manual.pdf>
- Cao, N. (2013). Calibration optimization and efficiency in near infrared spectroscopy [Doctoral dissertation] Iowa State University.
- Cobo, J. G., Dercon, G., Yekeye, T., Chapungu, L., Kadzere, C., Murwira, A., Delve, R. & Cadisch, G. (2010). Integration of mid-infrared spectroscopy and geostatistics in the assessment of soil spatial variability at landscape level. *Geoderma*, 15. pp:398-411.
- D`Mello P F. (2000). Farm animal metabolism and nutrition. CABI
- Hadley, W. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Gandariasbeitia, M., Besga, G., Albizu, I., Larregla, S. & Mendarte, S. (2017). Prediction of chemical and biological variables of soil in grazing areas with visible- and near-infrared spectroscopy, *Geoderma* 305, pp. 228-235, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.045>.
- Gates, J. R. (2018). A Comparison of VNIR and MIR Spectroscopy for Predicting Various Soil Properties. Dissertations & Theses in Natural Resources. 264 p.
- Geladi, P. (2003). Chemometrics in spectroscopy. Part 1. Classical chemometrics. *Spectrochim. Acta - Part B At. Spectrosc.* 58(5). pp. 767–782. doi: 10.1016/S0584-8547(03)00037-5.
- Givens, D I., De Boever, J L. & Deaville E.R. (1997). The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutrition Research Reviews*, 10(1). pp. 83-114.

- Gómez, J C. (2013). Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Tolima: Espinal. Editorial: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/2785>.
- González, D., Colás, A., Rodríguez, O., Álvarez, O. A., Gattorno, S. & Chacón, A. (2020). Estimación de materia orgánica en suelo Pardo mullido medianamente lavado mediante espectroscopía vis-NIR. *Centro agrícola*, 47(3), pp. 23-32.
- Guerrero, C., Zornoza, R., Pérez, A., Solera, J., Gómez, I. & García-Orenes, F. (2008). Uso de la espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIR) para la estimación rápida del carbono orgánico y la respiración basal en suelos forestales. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25. pp. 209-214
- He, Y., Huang, M., García, A., Hernández, A. & Song, H. (2007). Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58(2). pp. 144-153, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.03.011>.
- Lin, Z., Wang, R., Wang, Y., Wang, L., Lu, C., Liu, Y., Zhang, Z., & Zhu, L. (2018). Accurate and rapid detection of soil and fertilizer properties based on visible/near-infrared spectroscopy, *Appl. Opt.* 57, D69-D73.
- Macías, M., Cueto, J., Muñoz, J., & Landeros, Ó. (2015). Predicción de propiedades del suelo de importancia agronómica por espectroscopia de reflectancia de infrarrojo cercano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(6). pp. 1317-1329.
- Mohamed, E S., Saleh, A M., Belal, A.B. & Allah Gad, A. (2018). Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), pp. 1-14, ISSN 1110-9823, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.02.001>.
- Munawar, A., Yunus, Y., Devianti y Satriyo P. (2020). Calibration models database of near infrared spectroscopy to predict agricultural soil fertility properties, *Data in Brief*, 30, 105469, ISSN 2352-3409, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105469>.
- Nanni, M. R. & Dematte, J. A. M. (2006). Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society American Journal*, 70, pp. 393-406.

- Nduwamungu, C., Ziadi, N., Parent, É., Tremblay, F. & Thuries, L. (2009). Opportunities for, and limitations of, near infrared reflectance spectroscopy applications in soil analysis: A review. *Canadian Journal of soil science*, 89(5). pp. 531-541.
- Nie, P., Dong, T., Oye Xiao, S., Qu, F. & Lin, L. (2018). The Effects of Drying Temperature on Nitrogen Concentration Detection in Calcium Soil Studied by NIR Spectroscopy. *Apl. Sci.* 8, 269. <https://doi.org/10.3390/app8020269>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1995). Gestión ambiental, calidad del suelo, pretratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos. Norma Técnica NTC-ISO 11464. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11641/81663_62299.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Pouillot, R. & Delignette-Muller, M.L. (2010), Evaluating variability and uncertainty in microbial quantitative risk assessment using two R packages. *International Journal of Food Microbiology* 142(3). pp. 330-40
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rivera, A., Medina, M. & Cerón-Muñoz, M. F. (2018). Predicción de la composición química de alimentos de uso animal mediante NIRS Aplicaciones e interpretación práctica. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia. Fundación CIPAV.
- Rodríguez, J., Cortiza, A., Pereira, C., Chacón, A., Gattorno, S., Rodríguez, O., Rodríguez, A., Jiménez, R., Torres, P. (2015). Determinación VIS/NIR del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas pardos mullidos medianamente lavados VIS/NIR. *Centro agrícola* 42(3). pp. 5-12
- Selige, T., Böhner, J. & Schmidhalter, U. (2006). High resolution topsoil mapping using hyperspectral image and field data in multivariate regression modeling procedures. *Geoderma*, 136. pp. 235–244. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.050>
- Schapiro, R. (1990) The strength of weak learnability. *Machine Learning*, 5(2). pp. 197-227.
- Sousa, J., Dematte, J. & Romeiro, S. (2011). Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: potencial e custos.

Solos e Nutrição de Plantas, 70(3), 610-621. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000300017>.

Summers, D., Lewis, M., Ostendorf, B. & Chittleborough, D (2011). Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. *Ecological Indicators*, 11(1). pp. 123-131, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2009.05.001>.

Wei, L., Yuan, Z; Wang, Z; Zhao, L; Zhan, Y; Lu, X & Cao, L. (2020). Hyperspectral Inversion of Soil Organic Matter Content Based on a Combined Spectral Index Model. *Sensors*, 20. 2777; doi:10.3390/s20102777.

Yarce, C. & Castillo, J. (2014). Validación no exhaustiva del método analítico de Walkley-Black, para la determinación de materia orgánica en suelos por espectrofotometría de UV-VIS. *Ingenium*, 8(19), 37-45.

Zapata, R. (2021). Métodos de análisis de suelos. Universidad Nacional de Colombia. Sin publicar.

El proceso de gestión de la innovación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia produce importantes aportes al Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria a través de la generación de nuevos conocimientos. Estos son consignados en el presente libro a través de la sistematización de los saberes propios del ejercicio profesoral, en cumplimiento de los ejes misionales de docencia, investigación y extensión, así como en la difusión del conocimiento que se produce al interior de la facultad. Así, esta publicación busca satisfacer el objetivo de fortalecer la presencia e interacción universitaria con la sociedad, en particular con los actores del sector agropecuario a quienes se dirige.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

CEDAIT

Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico
de Innovación e Integración Territorial

LABORATORIOS
TERRITORIALES

GAMMA
Agrociencias, Biodiversidad y Territorio