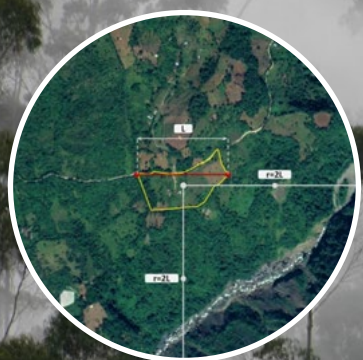


La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas

Perspectivas teórico-prácticas



Tomás Enrique León Sicard



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas
Perspectivas teórico-prácticas

La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas

Perspectivas teórico-prácticas

Tomás Enrique León Sicard
Agrólogo, Dr. Profesor Titular



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá, DC, 2021

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

León Sicard, Tomás Enrique, 1954-

La estructura agroecológica principal de los agroecosistemas : perspectivas teórico-prácticas / Tomás Enrique León Sicard. -- Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), 2021.

1 CD-ROM (218 páginas : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías, mapas

Incluye referencias bibliográficas (páginas 198-214) e índice
ISBN 978-958-794-605-5 (rústica). -- ISBN 978-958-794-606-2 (e-book)

1. Agroecología 2. Agroecosistemas 3. Cobertura vegetal 4. Restauración ecológica 5. Utilización de la tierra 6. Resiliencia I. Título

CDD-23 631.584 / 2021

La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas: Perspectivas teórico-prácticas

© Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá
Instituto de Estudios Ambientales - IDEA Sede Bogotá

Primera edición, 2021

ISBN impreso: 978-958-794-605-5

ISBN digital: 978-958-794-606-2

Licencia Creative Commons: Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual
International (BY-NC-SA) 4.0

Editorial

Instituto de Estudios Ambientales
Sede Bogotá
Universidad Nacional de Colombia
Sitio web: <https://idea.unal.edu.co/index.html>
Correo electrónico: idea_bog@unal.edu.co

Corrector de estilo

Camilo Baquero

Producción editorial

Arley García

Diseño y diagramación

Alejandro Medina

Incluir Impresión

DGP Editores S.A.S

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio sin la autorización escrita del Instituto de Estudios Ambientales -IDEA Sede Bogotá.

Impreso y hecho en Bogotá DC (Colombia), 2021

Contenido

Agradecimientos / 5

Presentación del libro en el marco de cooperación del convenio entre el Centro de Investigaciones para el Desarrollo Sostenible (ZEF) de la Universidad de Bonn y el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) / 6

Prólogo / 8

Referencias / 11

Introducción / 12

Capítulo 1

Las bases teóricas de la Estructura Agroecológica Principal / 15

El pensamiento ambiental / 15

El agroecosistema mayor / 17

Una unidad de escala diferente: la matriz de agroecosistemas / 25

En búsqueda de cualidades o características distintivas de los agroecosistemas / 28

Capítulo 2

La Estructura Agroecológica Principal / 31

Fundamentos / 31

Concepción filosófica, origen y evolución del concepto / 36

El encuentro con la ecología del paisaje / 39

La EAP como estructura disipativa / 45

Capítulo 3

Medición de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores / 48

La principal dificultad / 48

Los enfoques / 50

Los procedimientos de medición de la EAP / 51

Criterio 1: conexión con la estructura ecológica principal del paisaje (CEEP) / 55

- Criterio 2: extensión de los conectores externos (ECE) / 82*
Criterio 3: extensión de conectores internos (ECI) / 84
Criterio 4: diversidad de conectores externos (DCE) / 85
Criterio 5: diversidad de conectores internos (DCI) / 92
Criterio 6: usos del suelo (US) / 93
Criterio 7: prácticas de manejo (PMA y PMG) / 98
Criterio 8: prácticas de conservación (PRC) / 116
Criterio 9: percepción-conciencia-conocimiento (CON) / 122
Criterio 10: capacidad de acción (CA) / 127

Capítulo 4

Aplicaciones generales de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores / 134

- La Estructura Agroecológica Principal de las fincas como descriptor del agroecosistema mayor / 137
- La Estructura Agroecológica Principal de las fincas y la apropiación humana de la productividad primaria neta / 142
- EAP y la resiliencia a la variabilidad climática: el caso de los productores de café en Anolaima (Cundinamarca-Colombia) / 155
- Estructura agroecológica principal, resiliencia a la variabilidad climática y fitosanidad de cítricos en la orinoquia colombiana / 160
- Un nuevo caso de aplicación de la eap al estudio de la resiliencia de agricultores campesinos ante la variabilidad climática en Boyacá, Colombia / 167
- La Estructura Agroecológica Principal y la autonomía alimentaria / 176
- La Estructura Agroecológica Principal y la funcionalidad de los escarabajos coprófagos / 181
- La Estructura Agroecológica Principal de las fincas y la transformación del paisaje: ecoaldeas de Cundinamarca / 185
- La EAP potencial y el ordenamiento territorial / 189

Capítulo 5

La Estructura Agroecológica Principal en el contexto de la agroecología y del pensamiento ambiental agrario / 193

Referencias / 198

El autor / 215

Índice / 216

Agradecimientos

La conceptualización y modificaciones introducidas respecto de los criterios “Conservación de suelos, aguas y biodiversidad”, así como los relativos a las “Prácticas de manejo agrícolas y ganaderos” —con la inclusión de arvenses en estas últimas—, y la referencia a los cuerpos de agua en el análisis espacial, se realizó en conjunto con las estudiantes doctorales Ingrid Quintero, María Mercedes Murgueitio y Cindy Córdoba Vargas, con el acompañamiento de Yesica Xiomara Daza, graduada en el programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia. Mis agradecimientos a ellas por su generosidad.

Por otra parte, el autor reconoce al Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- de la Universidad Nacional de Colombia, por su permanente apoyo y hace extensivos sus agradecimientos a las siguientes personas:

A los profesores Javier Toro Calderón y Alejandro Cleves Leguízamo, por sus importantes aportes teóricos en la comprensión de la EAP como una estructura disipativa y su aplicación esmerada en los agroecosistemas citrícolas de la Orinoquia colombiana.

A César Nicolás Martelo Jiménez, Biólogo, M.Sc. del Instituto de Estudios Ambientales por sus aportes en la elaboración y reelaboración de algunas de las cartografías del capítulo 2 (figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14).

A las tesis Lina Lozano y Pierina Lucco cuyas contribuciones fortalecieron las aplicaciones prácticas del Índice y a la profesora de la Universidad Javeriana Neidy Lorena Clavijo Ponce, que compartió generosamente su trabajo con el equipo de la Universidad Nacional.

Al cuerpo profesoral y al estudiantado del Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia, que con sus observaciones y críticas siempre constructivas contribuyeron a la consolidación de los trabajos y tesis de grado que, aún ahora, continúan usando el índice EAP.

Presentación del libro en el marco de cooperación del convenio entre el Centro de Investigaciones para el Desarrollo Sostenible (ZEF) de la Universidad de Bonn y el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA)

La presente obra se enmarca en las reflexiones realizadas por el Grupo de Estudios Ambientales Agrarios del Instituto de Estudios Ambientales –IDEA– de la Universidad Nacional de Colombia, alrededor de las variables que definen históricamente las expresiones de la biodiversidad en las áreas rurales del país.

En este sentido, se entiende que la expresión de esa agrobiodiversidad, medida a través de la Estructura Agroecológica Principal de las fincas, es la resultante de tensiones de tipo social, económico, político y militar que, a lo largo de los años, moldean y reconfiguran, tanto los usos de la tierra alrededor de las unidades de producción agraria, como las expresiones de la vegetación natural (bosques, arbustales, herbazales). Es decir, que existen lazos y relaciones causa-efecto entre las configuraciones de los paisajes y la historia de la ocupación de los territorios. La vegetación resultante, de esta manera, no es neutra porque ella refleja, tanto las posibilidades económicas de los antiguos y actuales propietarios, como las tendencias de variados fenómenos ligados, por ejemplo, a migraciones, oleadas de colonización, desplazamientos, violencia, movimientos sociales o mercados de tierras.

Así, la EAP, acorde con su carácter de índice ambiental, revela las huellas del acontecer rural y de sus entronques culturales en la vegetación que permanece en las fincas. Ello ha sido comprendido en los diferentes diálogos establecidos entre estudiantes y profesores que participan del convenio de cooperación suscrito entre el IDEA de la Universidad Nacional y el Instituto ZEF (Centro de Investigaciones para el Desarrollo Sostenible) de la Universidad de Bonn, Alemania. Parte del trabajo que se expone en el libro recoge las preocupaciones sobre el manejo y uso de la agrobiodiversidad en distintos

territorios del país, abordadas y desarrolladas por estudiantes y profesores que hacen parte de este acuerdo académico.

El trabajo del doctor Alejandro Cleves Leguízamo, estudiante posdoctoral auspiciado por el convenio, sobre la EAP en sistemas citrícolas de la Orinoquia, revela las posibilidades de impulsar procesos de agricultura ecológica en una zona que ha sido golpeada por la violencia desde finales del siglo pasado. De igual manera, los avances logrados por la bióloga Ingrid Quintero, candidata a doctora del programa de Doctorado en Agroecología —y quien ha recibido total apoyo del convenio ZEF-IDEA—, también se enmarca en el estudio de las posibilidades y ventajas que ofrece la agrobiodiversidad para el manejo de la fertilidad de los suelos en agroecosistemas ganaderos de las montañas andinas colombianas. En la misma línea, la estudiante Yesica Xiomara Daza, apoyada en su trabajo de campo con los medios financieros y académicos aportados por el citado acuerdo, abordó el estudio de la EAP en relación con la apropiación humana de la productividad primaria neta, ofreciendo con ello un amplio campo de acción de utilidad para repensar la función de los sistemas ganaderos diversificados en el mantenimiento de propiedades ecosistémicas y culturales, que se pueden direccionar para el beneficio de los habitantes rurales de estas áreas en la búsqueda de condiciones que aseguren la sostenibilidad ambiental y la paz nacional.

De otra parte, el autor del libro y director de las tesis mencionadas, fue el primer coordinador por Colombia del convenio ZEF – IDEA y tuvo ocasión de compartir la visión filosófica del pensamiento ambiental agrario con los colegas del ZEF en varios eventos sostenidos en los dos países. Como resultado de ello se enriquecieron las respectivas visiones en torno a la educación ambiental, iniciativa que fue compendiada en un escrito conjunto publicado en la revista Gestión y Ambiente del IDEA.

Por lo anterior, puede considerarse que los esfuerzos en pro de la cooperación entre universidades, auspiciados por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD, por sus siglas en alemán), se ven recompensados en la publicación de este libro que, en opinión de expertos evaluadores, puede convertirse en un texto futuro de referencia para quienes se interesen en estudiar las relaciones complejas que se establecen en los agroecosistemas, entre el orden cultural (simbólico, organizativo y tecnológico) y el orden ecosistémico en el medio rural colombiano.

Prólogo

Este libro del Dr. Profesor Tomás Enrique León Sicard trata de la Estructura Agroecológica Principal (EAP), el índice que él mismo ha desarrollado y que integra un enfoque geográfico, indicadores bioecológicos e indicadores socioculturales para caracterizar los agroecosistemas.

El índice tiene sus raíces teóricas en las estructuras disipativas de Ilya Prigogine y ofrece un recorrido sobre las relaciones entre la agroecología y la ecología del paisaje, abordando el nuevo paradigma “Matriz de la naturaleza” (Perfecto et al., 2009) que supera las dicotomías entre la conservación de la naturaleza y la urbanización del mundo.

La lectura multiescalar de Tomás Enrique León Sicard de la finca al paisaje, así como los 10 indicadores que componen el índice EAP, representan un aporte importante por al menos tres razones.

Una primera tiene a ver con el contexto formativo de una investigación de larga duración que ofrece las continuas, consolidadas y, al mismo tiempo, novedosas reflexiones de un taller vivo, abierto, con circulaciones de ideas y prácticas. Se trata de una investigación desafiante realizada en contextos con baja o nula financiación y posible solamente a partir del trabajo directo de Tomás Enrique León Sicard y de su coordinación de tesis de maestría y de doctorado.

Esta valiosa y generosa producción del conocimiento como bien común —papel importante de la universidad pública—, el compromiso social del Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, el trabajo del profesor León Sicard y de sus colaboradores, constituyen profundos entrelaces con las dimensiones plurales de la agroecología en sus articulaciones de ciencia, movimiento, práctica y tejido de símbolos (Wezel et al., 2009).

Un segundo aspecto muy importante de la EAP es su papel en el desafío de la *transición agroecológica*. Gliessman (2015) resume cinco posibles *niveles* de transición agroecológica. El *primer nivel* requiere incrementar la eficiencia de las prácticas industriales/convencionales con el fin de reducir el uso y consumo de insumos caros, escasos o perjudiciales para el medio ambiente. Este nivel básico de eficiencia es bien representado por la agricultura de precisión o las diferentes tendencias de las agriculturas sostenibles o inteligen-

tes, pero se queda corto en dar cuenta de una real transición. Hay un *nivel dos*, donde la palabra clave es “substituir” o sea, reemplazar insumos y prácticas industriales/convencionales, con insumos y prácticas alternativas. Se trata de lo que hace la agricultura orgánica, biológica o ecológica (denominaciones diferentes según las regulaciones, por ejemplo, de la Unión Europea o de los Estados Unidos). Estas regulaciones definen todos los insumos permitidos para garantizar productos sin trazas de sustancias fitosanitarias industriales/convencionales. Pero la actividad agrícola puede desarrollarse en campos sin árboles o sin cercas vivas. El riesgo, como lo recuerda Miguel Ángel Altieri, es la consolidación de un mercado capitalista de la producción orgánica con una nueva concentración de la distribución y venta de “insumos ecológicos”.

Solamente en el *nivel tres* se entra en una verdadera transición agroecológica: hay que rediseñar los agroecosistemas para que funcionen con base en los procesos ecológicos. Esta transición agroecológica empieza en la finca y en el paisaje, pero se necesita ampliar la escala para ser eficaz, y aquí entran los dos otros niveles resumidos por Gliessman (2015). Con el *nivel cuatro* de transición se consigue restablecer una conexión más directa entre quienes cultivan alimentos y quienes lo consumen. Las bases creadas a la escala de agroecosistemas y paisaje (nivel tres), junto con nuevas conexiones entre alimentos, agricultores y ciudadanos (nivel cuatro), pueden culminar en un *nivel cinco* con la construcción de un nuevo sistema alimentario global sostenible que fortalezca la resiliencia de los ecosistemas sobre bases de equidad, participación y justicia.

Tomás Enrique León Sicard demuestra con este libro cómo la EAP ofrece una importante contribución a la transición de nivel tres (capítulo 2), mientras en el capítulo tercero explora las relaciones entre EAP y transiciones de los niveles cuatro y cinco. La EAP no es solamente una herramienta de caracterización de los agroecosistemas, sino una herramienta de cambio y transformación desde la finca, pasando para el paisaje y llegando al sistema alimentario mundial.

Un ejemplo concreto. Basso Isonzo es un barrio de Padua (la ciudad de mi universidad) que tiene una alta concentración de edificios y habitantes, pero mantiene una importante área agrícola con un proyecto de parque agro-paisajístico urbano. Dos fincas, Terre del Fiume y Terre Prossime, desde 2015 han empezado una producción agroecológica de proximidad y han vivido directamente en su piel el desafío de transformar terrenos cultivados de manera convencional en agroecosistemas de alta EAP. Han abierto zanjas que habían sido cerradas, plantado árboles y cercas vivas, recuperado humedales y mantenido un pequeño bosque. Pero este proceso no se ha dado solamente como conciencia campesina, sino como interacción social involucrando a ciudadanas y ciudadanos de los barrios de la ciudad que han participado en la creación de la Estructura Agroecológica Principal. “Planta la cerca y detiene

el hormigón” (7 de mayo 2017) y “Nace un bosque” (27 de marzo de 2018) son solamente un par de iniciativas que han visto la creación de bosques y cercas vivas en las dos fincas con la colaboración de ciudadanas y ciudadanos de todas las edades. Este es un pequeño ejemplo, entre miles que hay en diferentes lugares del mundo, entre periferias urbanas y sistemas agroecológicos — incluso en bosques tropicales —, donde la transición agroecológica de niveles tres, cuatro y cinco acontece acompañada por la creación de EAP.

Finalmente, el tercer elemento que me parece importante resaltar de este libro es el papel de la visualización cartográfica (geo-visualización) de los agroecosistemas y de los paisajes que plantea el índice EAP y sus diferentes indicadores. Como geógrafo que trabaja en agroecología no se me puede escapar esta importante contribución del trabajo del profesor León Sicard. Hay un valor enorme en usar mapeo participativo y prácticas de contra-mapeo con ciudadanos y campesinos para dibujar o expresar la situación actual de la agrobiodiversidad y plantear de manera participativas los cambios (Dalton y Mason-Deese, 2012; Monmonier, 2007; Peluso, 1995). Sea que se usen herramientas pre-digitales (los mapas de papel), sea que se utilicen las nuevas tecnología (drones, sistemas informativos geográficos), hay un uso crítico de la cartografía, un empoderamiento de la tecnología, una apropiación de los códigos de descripción y de transformación que son prácticas de ciudadanía y producción cotidiana de nuevos territorios de la soberanía alimentaria y tecnológica y, por lo tanto, del horizonte de cambio (Kidd, 2019; Santos, 2000).

Necesitábamos de este libro. Hemos esperado este libro. Un gran agradecimiento al Dr. Profesor Tomás Enrique León Sicard por proporcionarnos esta fundamental contribución.

Massimo De Marchi

*Dr. Profesor de Agroecología y Servicios Ecosistémicos
Universidad de Padua, Italia*

Referencias

- Dalton, C., Mason-Deese, L. 2012. Counter (mapping) actions: Mapping as militant research. *ACME: Int. E-J. Critical Geogr.* 11, 439-466.
- Gliessman, R., 2015. Introduction. Agroecology: a global movement for food security and sovereignty. En: *Agroecology for food security and nutrition. Proceedings of the FAO International Symposium.* FAO, Roma. pp. 1-13.
- Kidd, D., 2019. Extra-activism: counter-mapping and data justice. *Inf. Commun. Soc.* 22, 954-970. DOI: 10.1080/1369118X.2019.1581243
- Monmonier, M. 2007. Cartography: The multidisciplinary pluralism of cartographic art, geospatial technology, and empirical scholarship. *Prog. Hum. Geogr.* 31, 371-379. DOI: 10.1177/0309132507077089
- Peluso, N., 1995. Whose woods are these? Counter-mapping forest territories in Kalimantan, Indonesia. *Antipode* 27, 383-406. DOI: 10.1111/j.1467-8330.1995.tb00286.x
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Wright, A., 2009. *Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty.* Earthscan Publications, Londres.
- Santos, M. 2000. *La naturaleza del espacio: técnica y tiempo, razón y emoción.* Ariel, Barcelona, España.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503-515. DOI: 10.1051/agro/2009004

Introducción

La presente obra se ha escrito para profundizar en el concepto de Estructura Agroecológica Principal (EAP por sus siglas en español o MAS por sus siglas en inglés correspondientes a *Main Agroecological Structure*) de las fincas o, como se denominarán en adelante, agroecosistemas mayores. El concepto EAP fue concebido y desarrollado en el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia por el grupo de investigación en Estudios Ambientales Agrarios, como resultado de la obligada conexión que existe entre el pensamiento ambiental y la ciencia agroecológica.

Al considerar que existen estrechos vínculos entre la ciencia ambiental y la agroecología, y en virtud de la necesidad de establecer un *corpus* coherente de conocimientos sobre esta última rama del saber, una de las primeras preguntas que surge es cómo describir adecuada y universalmente a los agroecosistemas como los objetos de estudio de la agroecología (suponiendo que existe un consenso en la comunidad académica respecto a que éstos son, en verdad, su objeto de estudio). La anterior aclaración, colocada deliberadamente entre paréntesis, expresa que aún no se ha logrado un acuerdo sobre si, en realidad, los agroecosistemas son o no los objetos principales de estudio de la agroecología o si tal lugar lo ocupan algunos atributos que surgen de ellos (como la *sostenibilidad*, la *estabilidad* o la *resiliencia*). La idea de conservar a los agroecosistemas como el centro de la ciencia de la agroecología ha sido defendida por el autor en algunas de sus obras y en este libro se reafirma dicha idea con el propósito de avanzar en su estudio, tanto como campo de conocimientos factual, como formal.

Así, describir a los agroecosistemas pasa por identificar sus propiedades más relevantes. Si se acepta la idea de un agroecosistema asimilable a una finca o a cualquier otra entidad con límites precisos regidos por derechos de propiedad —cualquiera que ellos sean—, entonces resultan evidentes varios rasgos característicos de estas unidades: tamaño, forma, historia, distribución interna del uso de la tierra, tecnologías empleadas, tipos de productores, suelos, climas y estructura (entre otros atributos). La última de las características mencionadas (llamadas también ‘cualidades’) de los agroecosistemas, esto es, su *estructura*, ha sido poco analizada en la literatura agroecológica especializada y menos aún desde el punto de vista ambiental.

En cualquier sistema clasificatorio, la estructura se refiere a la disposición de los elementos constitutivos de una unidad mayor, así como a las interacciones que existen entre ellos. En efecto, la dualidad *estructura\relaciones* da lugar a las funciones inherentes de la unidad en cuestión. De esta manera, los elementos propios de los agroecosistemas, sus constituyentes primarios como suelos, climas, relieve, cultivos, árboles, pastos, animales, infraestructura construida —entrelazados e impulsados por el mundo simbólico, las decisiones económicas y las posibilidades tecnológicas y sociales de los propietarios—, generan funciones específicas determinadas para cada uno de los agroecosistemas que dependen de esta estructura, culturalmente instalada, para alcanzar los fines económicos, productivos, de educación o de conservación, que se proponen en sus fincas.

La anterior argumentación representa la razón por la cual el concepto de Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores (EAP), propuesto por el autor desde el año 2010 —y cuya definición y aplicaciones se abordarán a lo largo de este libro—, constituye un índice ambiental. Ello por cuanto induce un diálogo entre algunos elementos de corte ecosistémico, como la inclusión de coberturas boscosas dentro de los agroecosistemas o la medición de sus vallas o cercas vivas, con otros elementos de índole cultural relativos a las decisiones tomadas por los agricultores sobre la destinación de sus fincas (usos del suelo), el manejo tecnológico de sus semillas, cultivos y aguas o la percepción que ellos tienen sobre el papel de la agrobiodiversidad en sus sistemas productivos y sus capacidades financieras, educativas o sociales para aumentar significativamente su biodiversidad.

En este sentido, la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores puede considerarse como una medida de la agrobiodiversidad pensada a escala de finca, y no solamente como una herramienta que mide únicamente variables biofísicas puesto que, además, da cuenta de distintas variables de orden simbólico, socioeconómico, político y tecnológico que influyen en el uso de la biodiversidad como estrategia que atiende, al mismo tiempo, las exigencias de producción agraria y de conservación de bienes naturales.

Adicionalmente, la EAP ha sido aplicada por varios investigadores de la universidad y de otros entes académicos para fines diferentes al de la descripción de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas; el concepto se ha relacionado con tópicos como la sanidad vegetal, la resiliencia a distintos disturbios, la soberanía alimentaria, la transformación de paisajes y la apropiación humana de la productividad primaria neta, temas que han sido objeto de varias investigaciones y tesis de posgrado.

Por tanto, los campos de aplicación de la EAP van desde su posible uso como descriptor, e incluso como parte de un sistema taxonómico futuro, hasta su utilización en procesos de planeación interna de fincas, ordena-

miento territorial en distintas escalas y, por supuesto, como un instrumento que permite entender la importancia de manejar el sistema finca en relación con distintos factores del ambiente. En el futuro se podrían realizar estudios que relacionen la EAP, por ejemplo, con abundancia y riqueza de polinizadores, reciclaje de nutrientes, fertilidad de suelos, conservación de aguas, asimilación de gases de efecto invernadero, productividad de cultivos, salud humana, ingreso y generación de empleos, entre varios otros aspectos de mayor especificidad.

Parte de los fundamentos teóricos y de la descripción de relaciones entre la EAP y otros componentes de los agroecosistemas, se encuentran en el libro *Perspectiva ambiental de la agroecología: la ciencia de los agroecosistemas* que el autor publicó en 2014 sobre el tema general de la agroecología y su perspectiva ambiental; por tal razón se anima a quienes queden con dudas sobre algunos aspectos tratados en este libro a consultar dicha obra en la que se presentan las bases de la EAP.

De este tema, de la estructura de las fincas y sus conexiones con la agrobiodiversidad y el pensamiento ambiental, es de lo que trata este libro. Se ha escrito para quienes se interesen en avanzar de manera conceptual y práctica en el manejo racional de los agroecosistemas. Posee elementos novedosos que todavía están en discusión y su única intención es la de proveer un marco de referencia que permita relacionar posteriormente la estructura con la función de los agroecosistemas y que sea de utilidad para impulsar análisis sobre lo que podría representar en el futuro este índice, cuando la agroecología comience a interesarse por una posible taxonomía de sus agroecosistemas y se integre a discusiones relevantes sobre resiliencia, estabilidad, productividad y conservación con indicadores cada vez más robustos y complejos.

Capítulo 1

Las bases teóricas de la Estructura Agroecológica Principal

En este capítulo se aborda esencialmente el acercamiento conceptual y filosófico al concepto de Estructura Agroecológica Principal (EAP), a fin de proveer un marco teórico general que permita entenderlo en su especificidad ambiental y en el marco de una teoría general de amplio alcance para la ciencia agroecológica. Se parte de un acercamiento a lo que el autor considera como el *agroecosistema mayor*, entendido como la unidad superior al conjunto de cultivos u otros usos de la tierra en la que se enmarcan las decisiones del propietario, para luego introducir algunas ideas sobre las razones filosóficas de esta elección y su encuadre dentro de un espacio teórico en el que resulta interesante referirse a la EAP como una estructura disipativa de tipo cultural.

El pensamiento ambiental

La base teórica fundamental en la que se enmarca la EAP es el *pensamiento ambiental*, que aborda las implicaciones que poseen las actividades humanas en el uso y conservación de los bienes de la naturaleza. Aunque existen varias escuelas que formulan “lo ambiental” de distintas maneras, en este escrito se siguen los lineamientos formulados por el profesor Augusto Ángel Maya, quien básicamente entiende lo ambiental como las relaciones que se establecen entre los ecosistemas y las culturas (Ángel, 1993; 1995, 1996; 2000; Nogueira, 2004; León-Sicard, 2014). Sin pretender sustituir los extensos escritos de Ángel Maya, en estos párrafos solo se esbozan los principales postulados de esta escuela, a la que se apela constantemente en el texto. Un breve resumen de ellos es el siguiente:

Los seres humanos se han relacionado de maneras diferentes con los ecosistemas, desde los procesos de recolección y extracción de recursos alimenticios de caza y pesca efectuados por las comunidades de cazadores-recolectores, hasta los actuales procesos, altamente tecnificados, de extracción de recursos mineros y de combustibles fósiles llevados a cabo por las sociedades contemporáneas. En esta larga historia la humanidad, no solo ha

extraído bienes que yacen en los depósitos mineros o en bosques y ríos, sino que ha transformado ecosistemas enteros a través de distintas actividades de agricultura, pesca, industria, urbanización y, más recientemente, de turismo y servicios terciarios. De todas ellas, la que mayores efectos ambientales genera, tanto por intensidad como por extensión es, quizás, la agricultura.

Ahora bien, tales intervenciones y modificaciones humanas se realizan al tenor de la cultura y ésta se entiende como la conjugación de aspectos simbólicos, de organización (social, económica, política y militar) y de procesos tecnológicos, todos ellos altamente relacionados.

Los símbolos se refieren a las formas mentales o teóricas de entender los fenómenos naturales y de conectarlos con el devenir humano. Incluye, desde los mitos fundacionales y modernos, hasta la racionalidad instrumental, la ciencia positiva, los conocimientos ancestrales, las estructuras filosóficas, los desarrollos del arte, el conjunto de normas y prescripciones legales (derecho), las cosmovisiones, la religión, las costumbres, la ética y la moral, entre otras.

Por su parte, la organización humana abarca todas las posibilidades que se han planteado a lo largo de siglos en distintos tipos de sociedades, orientadas a regular los procesos de autoridad, las jerarquías y el poder, así como la transferencia y acumulación de bienes materiales e inmateriales. Entran en esta categoría, tanto la economía como el poder político y militar, así como las diferenciadas y complejas divisiones y reglas sociales que han regulado por siglos a todas las sociedades, tanto para el manejo y usufructo de los bienes naturales, como para sus interrelaciones de grupo.

El tercer aspecto está constituido por las plataformas tecnológicas que, desde la invención de la agricultura, no han dejado de manifestarse y de crecer —especialmente después de la Revolución Industrial—, de la mano del desarrollo científico y tecnológico. No hay tecnología que no esté conectada al conocimiento ni enredada en los hilos del poder, la economía y la política.

Los tres elementos mencionados (símbolos, organización y tecnología) constituyen los cimientos de la cultura y ella, a su vez, expresa todos los procesos de transformación, adaptación y cambios que generan los humanos en su base de sustentación ecosistémica. Agreguemos que la educación es el hilo conductor moderno de transmisión de valores, conocimientos y actitudes de la humanidad para entender y cuidar, como objetivo filosófico último, la vida sobre el planeta.

De esta manera, en el acto de producir alimentos y fibras, la agricultura, como casi todas las actividades humanas, se enmarca en esta referencia ambiental de interrelaciones complejas, dinámicas, continuas y de distinta intensidad y dirección entre el componente biofísico o ecosistémico de la producción agraria y el componente cultural.

Como se demostrará a lo largo de estas páginas, la EAP de cualquier agroecosistema también es el resultado histórico de estas tensiones que, finalmente,

terminan por dibujar determinadas configuraciones espaciales de la agrobiodiversidad en cada finca o agroecosistema mayor y, evidentemente, en el paisaje.

Aprovechando esta corta introducción al marco teórico general que inspira este libro, en los párrafos siguientes se exponen los conceptos generales y las definiciones que guían el desarrollo conceptual y práctico de la EAP, desde la concepción inicial del objeto de estudio, el agroecosistema, hasta su comprensión en términos ambientales (relaciones ecosistema-cultura). Quienes deseen profundizar en este campo, pueden consultar la abundante bibliografía existente sobre el tema.

El agroecosistema mayor

Son ampliamente conocidas las tres distintas acepciones o significados del término *agroecología*: ciencia, movimiento socio-político y forma de aplicar la agricultura (Altieri, 1999b; Rosset y Martínez-Torres, 2012; McCune *et al.*, 2017; Gallardo-López *et al.*, 2018; Mier *et al.*, 2018; Acevedo-Osorio y Chohan, 2019; Gliessman *et al.*, 2019). Recientemente el autor ha propuesto que la agroecología sea considerada también como una *estructura de símbolos*. Esta cuarta connotación reúne muchas de las interpretaciones que varios autores han propuesto sobre la importancia de la agroecología como portadora de expresiones populares, valores, compromisos ético-estéticos e, incluso, como expresión de costumbres, espiritualidad, religiosidades y folclore. Esta dimensión simbólica de la agroecología compendia todos aquellos aspectos teóricos y de significación que la impulsan como un nuevo paradigma (León-Sicard, 2018, 2019).

En cada una de tales acepciones, la agroecología ha mostrado variaciones o evoluciones sustanciales en los últimos veinte años, o quizás más, que la llevan a posicionarse como un paradigma con múltiples interpretaciones y funciones para la sociedad. Por ejemplo, un estudio reciente de Acevedo-Osorio y Chohan (2019) reconoce que la agroecología es una de las propuestas clave de los movimientos sociales en las denominadas Zonas de Reserva Campesina de Colombia, mediada, entre otros factores, por los procesos de transferencia, las lógicas productivas campesinas y la influencia histórica de la Revolución Verde, así como por la trayectoria legal y organizativa de los actores locales, éste último factor capaz de promover la agroecología como movimiento social ligado a la defensa de otros derechos económicos, sociales y políticos.

Aún hoy, en términos netamente científicos, la agroecología presenta retos importantes en distintas escalas de su desarrollo conceptual y epistemológico, en lo que atañe a la delimitación y aceptación general de su objeto de estudio, y en relación con las aproximaciones metodológicas en los distintos campos en que puede hallar aplicaciones. Esto resulta cierto para la agroecología en tanto forma o estilo de hacer agricultura, habida cuenta que aún

quedan muchos conocimientos para sistematizar e interrogantes a resolver sobre la aplicación de los principios agroecológicos en ambientes diversificados y bajo distintas presiones culturales.

Estos retos no lo son tanto para la agroecología cuando ésta se interpreta como movimiento sociopolítico o, mejor, como estructura de símbolos, porque allí lo que se requiere es la masificación del paradigma, su vinculación con las élites políticas o económicas y promover la discusión sobre los intentos de cooptación que sufre el término por parte de sectores contrarios a su filosofía pero ávidos de insertarla en sus discursos programáticos.

Los acuerdos epistemológicos se requieren, principalmente, a nivel de la misma definición de *agroecosistema*, arena de disputa que posee varias vertientes, desde aquellas que le vinculan a un espacio concreto de realidad física y de apoderamiento cultural (las fincas), hasta otras que lo amplían al sistema alimentario o a las comunidades agrarias y a las formas de habitar el planeta o que lo reducen sólo al espacio de los cultivos.

Sin abogar por una u otra definición del objeto de estudio de la agroecología, cosa que se hará más adelante, baste aquí presentar de otra manera, la que el autor acuñó hace varios años sobre el agroecosistema como

...un conjunto de relaciones e interacciones complejas, continuas, dinámicas, de diverso orden e intensidad que suceden entre suelos, climas, plantas cultivadas y adventicias, organismos de distintos niveles tróficos y distintos grupos humanos en determinados espacios físicos y geográficos, cuando son enfocadas desde el punto de vista de sus flujos energéticos y de información, de sus ciclos materiales y de sus relaciones simbólicas, sociales, económicas, militares y políticas, que se expresan en distintas formas tecnológicas de manejo dentro de contextos culturales específicos... (León-Sicard, 2010).

El carácter holístico de la anterior aproximación, en cuanto la definición del objeto de estudio de la agroecología, se logra cuando se acepta que ésta incluya los flujos energéticos y de información, así como los ciclos biogeoquímicos en conexión con el actuar cultural de las sociedades (relaciones simbólicas, sociales, económicas, políticas y militares) y con las formas tecnológicas que asume ese manejo integral de los agroecosistemas.

Esta simbiosis total que presenta la naturaleza misma de los agroecosistemas se inscribe directamente en el pensamiento holístico, el cual asume lo ambiental como las relaciones complejas, continuas, dinámicas y de diferentes intensidades que se establecen entre los ecosistemas y las diferentes culturas humanas (Ángel, 1993, 1995, 1996; 2000; León-Sicard, 2014).

En otras palabras, el objeto de estudio de la agroecología, el agroecosistema, consiste en una compleja red de interrelaciones e interacciones ambientales que parte de un objeto delimitable geográfica y físicamente (finca, ejido, hacienda), pero que a su vez se inserta en una constelación de inevitables va-

riables de orden simbólico, social, económico, político, militar y tecnológico. Tales interrelaciones se esquematizan en la Figura 1.

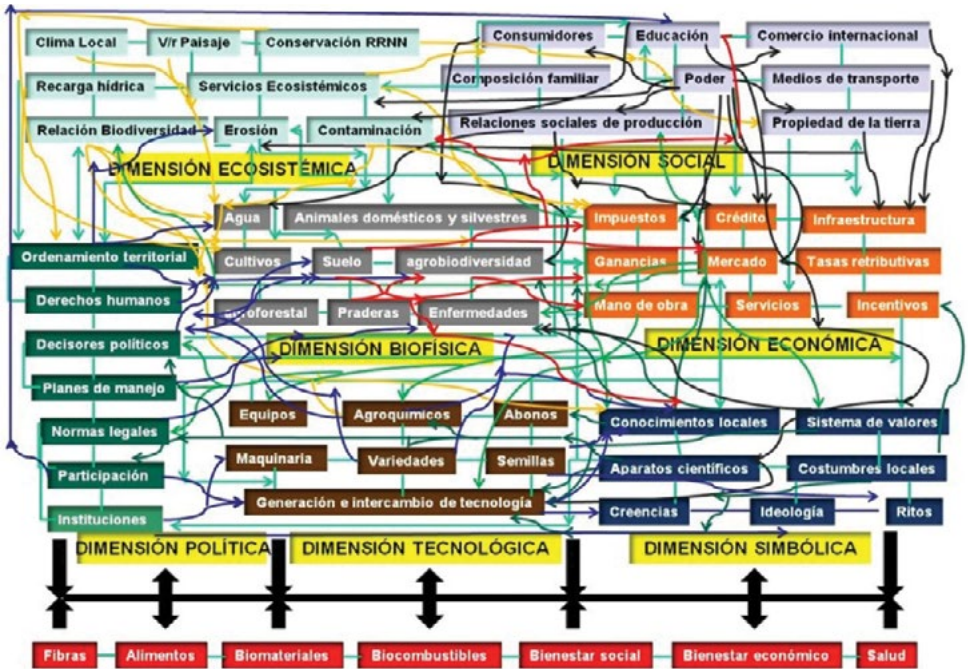


Figura 1. Esquema de algunos elementos culturales y ecosistémicos relacionados en un agroecosistema mayor (finca). (Fuente: tomado de León-Sicard, 2014).

Como puede observarse en la Figura 1, el agroecosistema finca incluye fenómenos y procesos que parten del fundamento mismo del sistema, en este caso el suelo (que, a su vez, subsume y expresa toda una amplia gama de factores formadores) y se extienden hacia otros componentes como el material parental, el clima, el relieve, las interacciones de múltiples organismos y el tiempo, cuyo entramado provoca su estabilidad (expresiones de agrobiodiversidad) o inestabilidad (erosión) y respuestas que pueden entenderse, tanto como salidas de productividad, estabilidad y resiliencia, como relaciones bióticas, conectividad, valor del paisaje, intercambios genéticos y de información, servicios ecosistémicos o conservación general de bienes naturales, entre muchas otras posibilidades.

Así mismo muestra algunas articulaciones culturales, puesto que se reconoce que los agroecosistemas son sistemas creados por los seres humanos, cuyas decisiones están mediadas por el poder político, las relaciones sociales, la generación de símbolos, la capacidad tecnológica y las señales de mercado, entre otras variables, que se imponen sobre las restricciones naturales (vocación natural o capacidad de uso) de las tierras.

Lo que aquí se denomina como “contexto cultural” y que ya se mencionó en el apartado anterior, hace referencia al actuar humano en su conjunto, mediado por el pensamiento (símbolos) y por su organización social, económica, política y militar, el cual se expresa bajo distintas plataformas tecnológicas, íntimamente interrelacionadas con el mundo simbólico y con la organización de las sociedades.

Esta idea de la cultura como herencia no biológica de la humanidad o como el conjunto de todas las formas de pensar y de actuar de los seres humanos, tiene su origen en los postulados del pionero de la antropología Edward Burnett Tylor (1871) —quien redefinió el concepto de cultura—, así como en los desarrollos que propuso —por lo menos en Colombia y, de alguna manera, en Iberoamérica—, el profesor Augusto Ángel Maya en su extensa bibliografía (Ángel, 1993, 1995, 1996, 2000). La cultura, en este contexto, no significa ilustración o apropiación de los conocimientos vivos de una determinada época, como lo había afirmado Ortega y Gasset en su famoso libro sobre la universidad escrito en 1930 (Ortega y Gasset, 1930).

No. Aquí el concepto de cultura recoge la más pura orientación antropológica y se refiere a todo el contexto del pensar y del actuar humano. Incluye las representaciones mentales sobre los fenómenos y, al mismo tiempo, los instrumentos físicos que intervienen en el orden natural; la organización socioeconómica y política, así como las plataformas tecnológicas; las visiones míticas y la ciencia; el derecho y el arte; la filosofía, la historia y la producción agraria o industrial. También incluye al turismo, la ética, la educación las actividades extractivas, el comercio, el mercado, la agricultura... en fin. Incluye todo el accionar humano instrumental respaldado en sus múltiples ideologías, filosofías, religiones y marcos teóricos.

Así concebido, el agroecosistema expresa un orden ecosistémico moldeado por el orden cultural (es decir, un *orden ambiental*). En términos absolutos puede considerarse como agroecosistema, tanto una planta individual de hortaliza sembrada en una matera doméstica, como una pequeña huerta o un invernadero moderno. Pero agroecosistema también puede ser un predio, una parcela, un lote o un sitio de cultivo que ocupe una o varias hectáreas. Igualmente, el agroecosistema puede ser el agregado de estos lotes o sitios de cultivo en unidades mayores (fincas, haciendas, ejidos, cooperativas).

¿Qué es entonces lo que distingue al agroecosistema y le proporciona su carácter propio, su límite relativo? Podríamos decir que esa cualidad distintiva subyace en la posibilidad y capacidad del ser humano de introducir cambios o modificaciones respecto a la misma distribución de las plantas o cultivos instalados, a las tecnologías empleadas, a los sitios seleccionados, a los momentos de siembra o a la destinación de los productos cosechados. Y estas posibilidades o capacidades, siempre están relacionadas con un aspecto clave: la *propiedad*, sea privada o comunal, la *tenencia* o el *derecho* otorgado por

la sociedad para decidir sobre todos los aspectos relacionados con la distribución, uso, manejo y apropiación del conjunto de elementos de esa unidad agropecuaria. Propiedad sobre los insumos, propiedad sobre la tierra, propiedad sobre los bienes y servicios obtenidos. Y esta propiedad le otorga al agricultor, por una parte, el derecho a delimitar su agroecosistema y, por otra, el derecho a decidir sobre el mejor empleo de sus bienes de producción.

Aquí vale la pena introducir algunas excepciones que no invalidan las premisas anteriores. En ocasiones, los dueños de las fincas arriendan parte de sus propiedades a algún empresario agroindustrial que solo utiliza dichos predios para producir determinado número de cosechas; en estos casos lo que se negocia en el fondo es el derecho a utilizar las tierras pactadas en los contratos de arrendamiento, con varias condiciones que los hace viables, tanto para el arrendador como para el propietario. En otros casos de aparcería, de medianías o de usufructo de la tierra, también se pactan los insumos, los gastos y los beneficios del uso de la tierra, muchas veces en contratos verbales que ceden parcialmente algunos derechos.

Por supuesto que estos derechos tienen ciertas restricciones que provienen del mundo ecosistémico (por ejemplo, difícilmente algún agricultor podrá emplear tractores pesados en fincas con suelos de pendientes elevadas) así como del mundo cultural (por ejemplo, su capacidad económica, su composición familiar, su acceso a crédito, su conectividad con otros derechos comunales).

Pero además, existen muchos otros aspectos del orden cultural que inciden en la toma de decisiones sobre los agroecosistemas; ellos afectan o son afectados por variables como los mercados, las plataformas tecnológicas, la presencia y calidad de infraestructura o por las normas, decretos, leyes u ordenanzas que provienen de distintas autoridades políticas y legales que inciden en la selección del tipo de producto, de los momentos de siembra y recolección, de los insumos, maquinaria o equipos a utilizar, de los tipos de consumidores y de las salidas o *outputs* ambientales de la producción, que pueden afectar ecosistemas y conglomerados humanos distantes.

Lo anterior resulta crucial para entender y mantener al agroecosistema como objeto de estudio de la agroecología. Es verdad que muchas de las variables mencionadas escapan a la voluntad del agricultor y se colocan en planos diferentes, incluso intangibles, como por ejemplo los efectos de una política pública o las decisiones que afectan el costo de los insumos, tomadas en mercados o en sitios de poder económico alejados de las realidades locales (bolsas de mercado, *lobbies* económicos, empresas transnacionales, agencias nacionales de investigación, etc.). También es cierto que los productos, bienes o servicios emanados de los agroecosistemas tienen incidencia —a veces de manera silenciosa e inadvertida— en toda la sociedad, a través del alimento, las fibras o de otros productos, materiales o no, que surgen de la actividad agraria. Pero ni lo uno ni lo otro puede desplazar el centro de gravedad del

agroecosistema como objeto de estudio de la agroecología, so pena de caer en una confusión epistemológica con repercusiones en las metodologías de estudio y en las aplicaciones generales de esta nueva ciencia.

Varios académicos han abogado por redefinir la agroecología como el estudio de las relaciones ecológicas de los sistemas alimenticios, para incluir allí todas aquellas variables de orden simbólico, organizacional y tecnológico que se inscriben en otras esferas de la complejidad agraria y que escapan a la voluntad del agricultor (Francis *et al.*, 2003). Aunque el esfuerzo es loable en virtud de hacer evidentes tales factores o variables, el resultado final sería la imposibilidad de ubicar en el tiempo o el espacio al referido sistema alimenticio y de hacer de muchas variables intangibles (decisiones de los consumidores, reacciones políticas, presiones comerciales, estrategias geopolíticas) el imposible centro de una ciencia construida en el vacío.

Haciendo abstracción de este debate, y aceptando entonces la idea del agroecosistema complejo ligado a límites definibles y a la acción autónoma de los agricultores mediada por la posesión (cualquiera que sea su denominación en cualquier régimen político), lo que interesa a continuación es discutir o presentar una definición de agroecosistema que incorpore la dimensión cultural en el desafío de nombrarlos y clasificarlos.

En términos relativos, la discusión sobre qué considerar o no como agroecosistemas, recae en una disyuntiva: o se trata de los cultivos, praderas o sitios forestales o silvopastoriles ubicados dentro de una finca en particular, o se trata de las mismas fincas entendidas en su concepción general de áreas debidamente delimitadas por derechos de propiedad.

En el año 2014 el autor revisó las principales concepciones y definiciones del término 'agroecosistema', encontrando que muchas de ellas lo asimilaban a fincas o haciendas o, en todo caso, a propiedades claramente definidas en las distintas legislaciones nacionales y muchas otras, en cambio, lo asimilaban fundamentalmente a sitios de cultivo.

En función de esta revisión, y de algunas discusiones posteriores con varios colegas, el autor propuso diferenciar tres clases diferentes de agroecosistemas o de agregación de agroecosistemas: (i) agroecosistemas de nivel menor o directamente *agroecosistema menor*, referido justamente al cultivo, el sitio forestal o a las parcelas, potreros o lotes pecuarios dentro de las fincas o unidades delimitadas por algún tipo de propiedad. (ii) Una segunda diferenciación de escala, denominada *agroecosistema mayor*, incluye esas áreas entendidas como fincas, haciendas, ejidos (cuyas denominaciones cambian de país a país) pero que todas tienen como característica exclusiva la de estar delimitadas físicamente y de tener algún tipo de propietario legalmente reconocido (particular, individual, cooperativa, sociedad anónima, consejo comunitario, resguardo indígena). (iii) Una tercera clase corresponde a la agregación de estas fincas individuales o agroecosistemas

mayores en escalas de paisaje (1:25.000 o más pequeñas) denominadas *matrices de agroecosistemas* (Figura 2).



Figura 2. Posición jerárquica de los agroecosistemas en el territorio. (Fuente: tomado de León-Sicard, 2014).

Considerar la finca como un agroecosistema mayor tiene muchas ventajas para las aproximaciones científicas de la agroecología. Por un lado, permite abordar un objeto de estudio con menor variabilidad que los agroecosistemas menores o cultivos. Estos pueden cambiar dentro de una finca en cuestión de meses, de acuerdo con la voluntad del agricultor (que responde a variables de mercado, necesidades familiares o reacomodos por otras causas como cambios de clima o ajustes de normas específicas de uso de suelos), pero en general las fincas mantienen su integridad por una cantidad elevada de años, lo que les confiere cierta estabilidad.

Claro está que las fincas, o agroecosistemas mayores, no permanecen para siempre (nada lo hace). Su tamaño, composición interna (agroecosistemas menores), o incluso su propósito general, pueden cambiar al compás de distintas fuerzas, eventos, acontecimientos o circunstancias. En efecto, las fincas pueden ser subdivididas debido a un proceso de herencia patrimonial, pueden ser reconvertidas en áreas con vocación urbana o agroindustrial, o englobadas en unidades mayores en función de algún determinante del ordenamiento territorial. Pueden pasar de ser fincas ganaderas a fincas arroceras o a fincas de propósitos educativos o institucionales.

Pero lo cierto es que, aun así, las fincas permanecen en el tiempo por períodos más largos (lustros, décadas, centurias) que sus agroecosistemas me-

nores. Estos pueden pasar de ser cultivos de ciclos cortos a cultivos de ciclos anuales, semipermanentes o permanentes. Pueden cambiar las variedades y los mismos cultivos. Las fincas pueden extender sus áreas de producción pecuaria o agroforestal o incluso abandonarse para permitir la regeneración de las coberturas primarias de bosques, herbazales o arbustales. Pero mientras se mantenga la propiedad privada o comunal, se podrá hablar de un objeto de estudio susceptible de ser aprehendido desde distintas ópticas y razonamientos en razón de su estabilidad y permanencia relativas, aunque uno de sus atributos sea, precisa y paradójicamente, el cambio.

La finca, en tanto que agroecosistema, presenta fuertes ventajas para estudios comparados de índole interdisciplinaria, porque ella resume todas las posibilidades y limitaciones nacidas del quehacer humano en sus diferentes expresiones culturales, girando en torno al cultivo de plantas y la cría de animales.

Dicho de otro modo, en los agroecosistemas mayores se concentran y expresan todos los factores simbólicos (conocimientos, ritos, creencias, costumbres, ideologías, valores, visiones del mundo, de la vida y del desarrollo), las lógicas y posibilidades de producción, las limitaciones económicas, las relaciones de poder, las prebendas de la propiedad privada, las acciones estatales, la infraestructura, el mercado, las políticas públicas o las exigencias y posibilidades tecnológicas. Todo ello puede ser valorado y comparado con mucha más precisión en los agroecosistemas mayores que en los agroecosistemas menores.

Los cultivos, es decir, los agroecosistemas menores, invitan más al pensamiento ecológico; por el contrario, las fincas, los agroecosistemas mayores, se inscriben más con el pensamiento ambiental y, por supuesto, sin ningún sentido de exclusión.

Lo anterior significa que, aunque las fincas experimentan, con la misma intensidad y naturaleza, influencias ecosistémicas y culturales similares a las que ocurren en los cultivos, las exigencias de manejo de estos últimos se centran más en asuntos de índole ecológica (ubicación, tipos de semillas, arreglos en cultivos múltiples, manejo de la fertilidad, sanidad vegetal) mientras que la complejidad es mayor y se atienden más variables culturales (ambientales) en la escala de la finca.

No obstante, el autor ha planteado algunas limitaciones inherentes a esta consideración de la finca como un agroecosistema mayor:

En primer lugar, delimitar las fincas en ocasiones no resulta fácil. Ello depende del volumen y de la calidad de información catastral y cartográfica que se encuentra en las entidades o agencias encargadas de las funciones de registro de las propiedades rurales. De otro lado, hay que reconocer que las fincas, al ser entidades formales, no se ven directamente en los paisajes y, por lo tanto, no pueden delimitarse, a no ser que se posean los datos previos de los límites aportados por los propietarios o por las instituciones geográficas encargadas de tales labores. No obstante, esta limitación del reconocimien-

to visual de las fincas en el paisaje no puede entenderse como un obstáculo natural o inherente al agroecosistema mayor, sino como una dificultad de los estudios del paisaje que, sin duda alguna, se puede resolver fácilmente utilizando los medios digitales o de cartografía social apropiados.

Pero el análisis puede tornarse aún más complejo si se formula esta pregunta: ¿Existen ecosistemas dentro de agroecosistemas? La respuesta, cuando se apela al agroecosistema mayor, es sí, pero si se consideran los agroecosistemas menores, es no. Visto de otro modo, esta pregunta puede reinterpretarse reemplazando los términos 'agroecosistemas' y 'ecosistemas' y entonces, ella quedaría así: ¿Existen o pueden existir bosques o humedales dentro de fincas? La respuesta, obviamente, sigue siendo sí. Pero si la pregunta es ¿existen bosques dentro de los cultivos?, la respuesta difícilmente es sí y generalmente es no.

Esta distinción, que parece elemental, encierra en su contenido un acercamiento conceptual diferente a la agroecología, que pasa por unificar el criterio de agroecosistema mayor y de entenderlo en relación con otros elementos del paisaje como bosques, fragmentos de vegetación natural, corredores biológicos o parches. La agroecología, a diferencia de la ecología del paisaje, ya no reconoce estos elementos aislados en el conjunto, sino que les otorga una identidad cultural. Los bosques, los cuerpos de agua, los fragmentos de vegetación natural y los corredores biológicos pasan a ocupar un lugar dentro de los agroecosistemas y es desde dentro de los agroecosistemas mayores como se decide la suerte de estos elementos vegetacionales, bien sea para talarlos, enriquecerlos o transformarlos de distintas maneras.

Una unidad de escala diferente: la matriz de agroecosistemas

Si se acepta que las unidades de producción agraria dominadas por cualquier tipo de propiedad privada o comunal (fincas) se asimilan a las unidades principales de estudio de la agroecología, todavía quedan varias cuestiones para resolver.

En primer lugar, la concepción de abordar los agroecosistemas desde el punto de vista de su escala de finca no implica, de ninguna manera, abandonar la escala del agroecosistema menor o del cultivo. En opinión del profesor Acevedo Osorio (com. pers.)¹ esta es la mínima unidad conmensurable de análisis, espacio con características biogeoestructurales y de manejo similares que permite reconocer que no todos los agroecosistemas de la finca son manejados bajo los mismos criterios por la familia o el agricultor. En estas

¹ Álvaro Acevedo Osorio, Ing. Agrónomo, Doctor en Agroecología. Profesor Asociado de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. E-mail: aacevedoo@unal.edu.co

aseveraciones encontramos un acuerdo con otros investigadores que trabajan a esta escala de unidad mínima del agroecosistema. Los cultivos, ya sean permanentes o transitorios, cuando se entienden y manejan bajo la perspectiva de agroecosistemas menores, cambian las consideraciones referentes a las interrelaciones que suceden dentro de ellos y, de esta manera, la agroecología propone principios y abordajes integrales, ampliamente discutidos por varios autores (que no se presentan en estas páginas, por su complejidad y en razón del propósito de este libro, concentrado especialmente en los agroecosistemas mayores).

En segundo lugar queda el asunto de considerar los conjuntos más grandes que las fincas en los paisajes rurales. En tercer lugar, aparecen las preguntas sobre las características fundamentales de estos agroecosistemas mayores que los habilitan para ser clasificados taxonómicamente. En cuarto lugar surgen interrogantes acerca de su estructura y funcionamiento.

El segundo punto mencionado es muy interesante y se convierte en una zona de encuentro entre la agroecología y la ecología del paisaje, aunque, en honor a la verdad, hay que afirmar que este asunto ya preocupaba a los agrónomos y a otros profesionales interesados en la planificación territorial y ambiental desde finales de los años setentas del siglo xx.

En efecto, a partir de las mismas concepciones sistémicas que dieron paso a las propuestas sobre agroecosistemas del profesor Robert Hart (1985) en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica —y que originaron la Red Internacional de Métodos de Investigación de Sistemas Productivos (RIMISP) en 1986—, la agronomía ya había comprendido que la escala de la finca y de sus agregados en el paisaje, representaban puntos fuertes para comprender múltiples relaciones al interior de las mismas. Desafortunadamente los esfuerzos y el bagaje teórico generado por esta red se debilitaron paulatinamente debido a varios factores de tipo administrativo y de inestabilidad de la financiación internacional.

Como consecuencia de estos esfuerzos, aparecieron luego diversas aproximaciones que propusieron distintas categorías para abordar el tema de las fincas dentro de los paisajes rurales, como la *clasificación de zonas homogéneas* (que valoraba fundamentalmente las características biofísicas a partir de concepciones de fisiografía, geomorfología, climas y suelos) o la de áreas homogéneas de producción (que validan componentes tecnológicos en función de diversos requerimientos de cultivos). Sin embargo, estas aproximaciones originadas en las tecnocracias nacionales muestran limitaciones en la comprensión global de los fenómenos que afectan a las fincas y a sus entornos inmediatos.

Se renueva, entonces, el interés por encontrar categorías que engloben la escala de la finca en agregados más o menos homogéneos que permitan realizar estudios y cálculos anticipatorios de planificación veredal, municipal, de-

partamental, regional o incluso nacional. Es decir, que permitan reunir grupos de agroecosistemas mayores con características ambientales (ecosistémicas y culturales) similares a escalas más pequeñas (1:50.000, 1:100.000 o menores).

¿Habría que adicionar una categoría superior al agroecosistema mayor o finca, para dar cuenta de los agregados de agroecosistemas en el paisaje? Muchos investigadores se refieren, por ejemplo, al “agroecosistema cafetero” o al “agroecosistema maicero” para indicar la integración horizontal de muchas fincas de la misma categoría en un lugar determinado. No obstante, abrir una categoría nueva (el macro-agroecosistema) no se justifica por razones que tienen que ver con la existencia de otras categorías de mayor uso en la planificación del territorio. Además, una unidad de fincas con esta denominación en el paisaje ya no conserva su coherencia, dado que en su caracterización intervienen variables complejas y disímiles de índole ecosistémica (suelos, relieves, climas, coberturas vegetales) y cultural (condiciones socioeconómicas de los propietarios, simbologías diversas, tecnologías variadas).

La cuestión anterior representa un extenso campo de debate ligado incluso a la posibilidad de establecer una taxonomía de agroecosistemas de la cual, aún hoy en día, no se dispone. Una tal clasificación debería tener en cuenta los conjuntos de agroecosistemas ubicados en determinadas porciones de territorio que compartan, tanto condiciones biofísicas o ecosistémicas, como similitudes de orden tecnológico, simbólico y socioeconómico. Ello llevaría a proponer una categoría agroecológica de distinta jerarquía ligada, por ejemplo, a denominaciones como “territorio agroecológico”, “provincia agroecológica” u otras que reflejen estas homogeneidades relativas.

La ecología del paisaje designa a estos agrupamientos de agroecosistemas similares con el término ‘*matriz de agroecosistemas*’ que, a nuestro juicio, se ajusta mejor a la realidad de esta categoría (Figura 1).

La matriz se refiere a la cobertura dominante en cualquier paisaje y alude a una composición más o menos homogénea de los elementos materiales y culturales que la componen. En las áreas rurales que han sido ampliamente transformadas por acciones antrópicas, en general persisten solo algunos remanentes de vegetación natural que se expresan como parches o pedazos de bosque diseminados a lo largo de algunas riberas de ríos o esparcidos sin orden aparente en distintas zonas de los territorios. Dominan en ellos, grandes extensiones de áreas agropecuarias que a simple vista ofrecen posibilidades de delimitación por grupos de cultivos.

Pero todas esas zonas pueden ser agrupadas con mayor facilidad si se conocieran los límites de las fincas que las componen, porque el observador tendría un elemento fundamental de agrupación: los mismos linderos de los agroecosistemas.

Desafortunadamente en la realidad los límites o linderos de las fincas están poco demarcados o solo pueden ser apreciados por los propietarios que

conocen sus tierras de cultivo o de uso pecuario o forestal. Ello ha hecho que, hasta la fecha, dominen las clasificaciones tipo Corine Land Cover (CLC)² que solo muestran agrupaciones de cultivos en el paisaje, sin dar cuenta de la real distribución de la propiedad de la tierra, es decir, de la extensión, forma, distribución, uso, tenencia y tamaño de los agroecosistemas presentes en el paisaje.

La inclusión de una categoría de esta naturaleza cambia completamente los análisis convencionales del paisaje, porque genera inquietudes y preguntas sobre la esencia de esos agroecosistemas mayores que pasan de ser objetos físicos, delimitados en el terreno o en los mapas, a objetos antrópicos, dinámicos, cambiantes y portadores de múltiples expresiones culturales.

A partir de esta concepción, ya no basta la sola enumeración de los cultivos diseminados en el territorio. Hay que preocuparse ahora por la propiedad de las fincas, su extensión, sus límites y, lo que es más importante, por sus propietarios ¿Quiénes son ellos? ¿Qué características sociales y económicas poseen? ¿Qué tecnologías utilizan? ¿Cuáles son sus percepciones, actitudes y posibilidades de uso en relación con la biodiversidad? ¿Cuáles son sus relaciones con los parches boscosos, los corredores biológicos y los fragmentos de vegetación natural?

La agroecología, a diferencia de la ecología del paisaje, ya no reconoce estos elementos aislados en el conjunto sino que les otorga una *identidad cultural*. Los bosques, los cuerpos de agua, los fragmentos de vegetación natural y los corredores biológicos pasan a ser parte de una propiedad rural, de una finca, de una hacienda.

Por lo tanto, las decisiones sobre qué pase con ellos, cómo se conservan, cómo se conectan o no, entran en la lógica productivista o conservacionista de cada agricultor-propietario y se alejan cada vez más de las pretensiones del planificador rural o del biólogo de la conservación que los ve como entes sin dueño, separados del contexto y, por lo tanto, sujetos de decisiones administrativas ajenas a la voluntad individual.

El análisis podría extenderse mucho más allá, hasta las esferas psicológicas, sociales o antropológicas de los productores agrarios, que abarque sus mundos personales; pero, para los propósitos del tema tratado en este texto, basta con proponer estudios limitados a las relaciones culturales generales de los agricultores en relación con la agrobiodiversidad.

En búsqueda de cualidades o características distintivas de los agroecosistemas

Una vez superada la cuestión de definir o de proponer una definición satisfactoria para la unidad de análisis de la agroecología (por lo menos en lo que respecta

² Coordination of Information on the Environment (IDEAM, 1990).

a esta obra), quedan todavía más cuestiones por resolver. Una de ellas concierne a la comprensión de las características o cualidades de los agroecosistemas.

León-Sicard (2014) afirma que es posible distinguir las características o atributos simples de los agroecosistemas definidos a partir de valores igualmente simples (la pendiente, por ejemplo) y las cualidades o atributos complejos, determinados por una conjugación de características. Entre estas, el autor menciona el tamaño, la forma, el tipo de producción, el clima, los suelos, el relieve, la ubicación geográfica de la finca o el tipo de productor, entre varias otras, y añade una cualidad relacionada con la agrobiodiversidad de los agroecosistemas: la Estructura Agroecológica Principal (EAP).

Esta búsqueda de elementos definitorios de los agroecosistemas es fundamental a la hora de profundizar en su estudio taxonómico y funcional. Por un lado, las características y cualidades definen la esencia misma del agroecosistema en cuestión porque informan a los interesados sobre muchas de sus peculiaridades, las cuales pueden ser tomadas como referencia de otros agroecosistemas mayores. De ellos pueden derivarse comparaciones confiables sobre el comportamiento y posibles rutas evolutivas de las fincas e incluso se facilita la generación y transferencia de conocimientos. Pero todas estas características y cualidades de los agroecosistemas mayores requieren profundizar, tanto en sus aspectos metodológicos de medición, como en las consecuencias de su materialización; es decir, todas ellas entran en el terreno de la complejidad.

La sola mención del *tamaño* de las fincas, por ejemplo, conlleva extensas discusiones, no solo sobre las posibilidades de manejo —condicionadas por aspectos de acceso a recursos financieros y humanos, crédito o capacidad de gestión— sino porque en Colombia las extensiones de las fincas suelen estar relacionadas con procesos históricos de acaparamiento de tierras. Además, en función del tamaño de las fincas, varían así mismo la escala y la intensidad de las tecnologías de manejo que pueden aplicarse.

La *forma* de las fincas, aunque sea un tema poco explorado, también condiciona su utilización. Fincas alargadas y estrechas generan mayores dificultades con relación a la instalación de cultivos y el manejo de otros recursos como el agua. Fincas más compactas y de mayor proporcionalidad entre sus lados, permiten planear mejor el uso, las rotaciones de cultivos y de praderas, los sistemas de riego y los conectores internos.

Por supuesto el *tipo de producción* es un rasgo complejo de los agroecosistemas mayores que los individualiza y les da un sello de identidad. Está relacionado con el *tipo de productor* y de ahí que sea una cualidad compleja. En ambos tipos intervienen múltiples variables que determinan la clase de agroecosistema: ganadero (con distintas denominaciones), forestal, agrario (en relación con sus cultivos principales y entonces tal agroecosistema puede denominarse cafetero, palmero, arrocerero, hortofrutícola, etc.), silvopastoril, de pequeña, mediana o gran propiedad, de economía campesina o agroindustrial... en fin, sin

entrar aún en riesgosas calificaciones del “tipo de productor” que se refiere esencialmente a cualidades humanas de orden social, psicológico o económico bastante complejas.

Similares anotaciones merecen otras cualidades de los agroecosistemas mayores, como el clima, los suelos, el relieve o la ubicación geográfica de la finca. Cada uno de ellos expresa o está conformado por atributos individuales que, en su conjunto, aumentan la complejidad en la percepción y clasificación de las fincas. El suelo, por ejemplo, que puede variar muchas veces en una misma finca en función de su tamaño y relieve, está constituido por decenas de propiedades físicas, químicas, mineralógicas y biológica que interactúan entre sí y de lo cual resulta un cuerpo natural de alta complejidad, tanto en su interior como en sus expresiones externas. Igual acontece con el clima, que se compone de variaciones en precipitación pluvial, temperaturas diarias, máximas y mínimas, humedad relativa, fuerza y dirección de los vientos y gradientes de radiación solar.

El propósito de este texto tampoco es el de profundizar en los detalles de los elementos que caracterizan o que aportan cualidades distintivas a los agroecosistemas, sino el de mencionar que, entre ellas, aparece una característica compleja que puede ser abordada en el momento de reconocer o de describir agroecosistemas mayores y que está relacionada con distintas funciones y atributos de los mismos. Se trata de la denominada Estructura Agroecológica Principal (EAP) de los agroecosistemas mayores, concebida como una manera de contribuir a su caracterización y a una posible taxonomía futura, así como al entendimiento de uno de los aspectos claves de las fincas: su agrobiodiversidad.

Capítulo 2

La Estructura Agroecológica Principal

Fundamentos

La Estructura Agroecológica Principal (EAP) se refiere a la mayor o menor agrobiodiversidad presente en los agroecosistemas mayores, condensada en un índice de tipo ambiental que recoge, tanto elementos ecosistémicos o biofísicos, como elementos culturales. Con base en los trabajos de León-Sicard *et al.* (2011) y León-Sicard (2010, 2014 y 2018) y León-Sicard *et al.* (2014, p. 156), en el presente libro se ha revisado la definición inicial de EAP, para formularla de la siguiente manera:

La Estructura Agroecológica Principal es la configuración o arreglo espacial interno y externo de la agrobiodiversidad en el agroecosistema mayor (la finca) y la conectividad espacial entre sus distintos sectores, parches y corredores de vegetación o sistemas productivos (agroecosistemas menores) entre sí y con el paisaje circundante, históricamente construida y regulada por variables culturales.

Nótese en esta definición que la EAP se refiere a la agrobiodiversidad, es decir, al conjunto de seres que intervienen, de una u otra manera, en los agroecosistemas mayores, ya sea como cultivos propiamente dichos o como plantas y animales que se introducen intencionalmente o no, pero que realizan funciones diferentes en las fincas (más adelante se suministran algunas definiciones pertinentes). Praderas, árboles, cultivos transitorios y permanentes, arvenses, bancos forrajeros, cercas vivas, relictos de bosque, herbazales, matorrales y animales de cría, ceba o engorde que se encuentren dentro de los límites de la finca, constituyen los elementos visibles de esta agrobiodiversidad, dispuesta espacialmente de formas variadas y que así mismo protegen una biodiversidad edáfica usualmente invisible al ojo humano, pero de trascendental importancia para la vida y la continuidad de los agroecosistemas (hongos, bacterias, actinomicetos, algas, insectos, arácnidos, moluscos, protozoos).

Se podría afirmar, entonces, que la EAP es una medida ambiental de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas mayores.

Igualmente, la definición insiste en que la EAP es el producto de construcciones históricas que, a lo largo del tiempo, moldean su expresión y que le adjudican de entrada, una característica adicional e inherente a la misma EAP: su *variabilidad*.

Como la EAP también es producto de tensiones históricas de tipo social, económico, político, militar y tecnológico que tienen lugar en los territorios, se espera que sea moldeada y transformada a lo largo del tiempo por esas mismas fuerzas que la originaron.

Por otra parte, la EAP incide en la preservación, movimiento e intercambio de distintas especies animales y vegetales, les ofrece refugio, hábitat y alimento, provee regulaciones microclimáticas e incide en la producción agraria, en la conservación de bienes naturales y en otros aspectos ecosistémicos y culturales de los agroecosistemas (resiliencia, adaptabilidad, equidad, estabilidad).

El autor propuso en 2014, el esquema que aparece en la Figura 3 en el que pueden observarse dos tipos de finca: la de la izquierda posee vallas, setos o cercas vivas de distintas naturalezas (pinos, vegetación secundaria), cultivos múltiples (PC), un cuerpo de agua (A) en la zona central de la finca y un sistema silvopastoril intensivo (SSP), caracterizado por la combinación de pastos con especies leguminosas arbóreas. A la derecha, aparece el mismo esquema de finca, pero ahora dominado por un monocultivo (MC) y una pradera simplificada (P), con un solo árbol ubicado en su parte inferior izquierda.

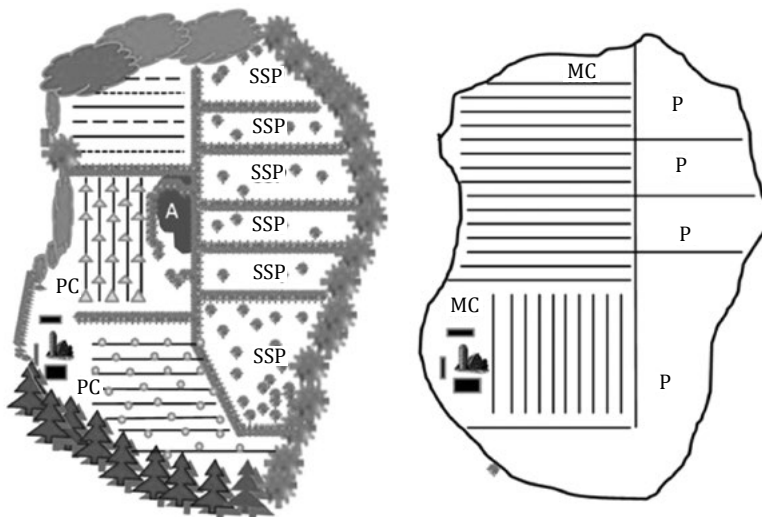


Figura 3. Esquema de dos fincas con diferente Estructura Agroecológica Principal. PC: Policultivos; SSP: Sistema Silvopastoril Intensivo; MC: Monocultivo; P: Pradera en monocultivo. La finca de la izquierda muestra distintos tipos de cercas vivas y la de la derecha, un solo árbol como cerca viva. (Fuente: tomado de León-Sicard, 2014).

En la Figura 4a se muestra un ejemplo ficticio de una finca campesina en el municipio de Boyacá (Cundinamarca), sin estructura y con claros síntomas de erosión de suelo (1), que colinda con una finca ganadera la cual, igualmente, presenta una EAP débil o muy poco desarrollada (2). Estas dos fincas contrastan con el ejemplo presentado en la parte inferior de la Figura 4b, que muestra una finca ubicada en el municipio de La Vega (Cundinamarca) que muestra una EAP fuerte, expresada en sus cultivos múltiples, en cercas internas diversas y en el mantenimiento de coberturas vegetales secundarias.

(a)



(b)



Figura 4. En (a) se observan ejemplos ficticios de dos fincas agrícolas y ganaderas con EAP débil (1 y 2), mientras en (b) vemos una explotación con una EAP desarrollada (3).

Los primeros cinco elementos ecosistémicos que el autor contempla en la formulación de la EAP (los cuales se presentan en la Tabla 1 y se discutirán en detalle más adelante), se refieren a todas aquellas coberturas vegetales, intencionalmente planeadas o no, que se encuentran en el agroecosistema mayor, bien sea como cultivos, plantas arvenses, cercas vivas (vallas, setos, corredores de vegetación natural) o incluso relictos de bosques naturales o de otros tipos de coberturas (matorrales, herbazales, arbustales), además de los cuerpos de agua. Por tanto, el índice presenta al conjunto de coberturas de la finca, bien como parte del sistema productivo o como parte de aquella biodiversidad que ha sido catalogada por otros autores como *auxiliar* o *no intencional* (Altieri y Nicholls, 2007); además, también incluye aquellas coberturas del paisaje que rodean al agroecosistema y que lo afectan de muchas maneras.

Las vallas, cercas vivas o setos, tanto internos como externos, el autor les denomina *conectores*. En esta categoría entran también los demás tipos de coberturas que se establezcan intencionalmente o se preserven para actuar como enlaces entre distintas partes de las fincas.

Lo interesante del índice, y lo que lo convierte en un indicador de tipo ambiental, es que reúne estos criterios e indicadores ecosistémicos (longitud, porcentaje y diversidad de conectores internos y externos) con otros elementos que son mejor comprendidos desde el orden cultural.

De esta manera, la ecuación de cálculo de la EAP (que se presenta en detalle más adelante) se complementa con cinco indicadores adicionales de tipo cultural que expresan la complejidad del actuar humano sobre la diversidad. Ellos son: los usos del suelo, las prácticas de manejo agrícola o ganadero (que pueden ser ecológicas, convencionales o en transición), mercados, composición familiar, políticas públicas, tecnologías disponibles), las prácticas de conservación de aguas, suelos y biodiversidad, la percepción-conciencia ambiental de los agricultores y, finalmente, sus reales posibilidades económicas, financieras o sociales para construir la EAP (sembrar las coberturas necesarias) (Tabla 1).

Ahora bien. Esta diferenciación entre indicadores ecosistémicos y culturales es un tanto arbitraria, porque es tan cultural el acto de sembrar árboles o arbustos a lo largo de los linderos del agroecosistema mayor, como lo es definir los usos de la tierra al interior de la finca o emprender el manejo de las plantas arvenses. Es decir, que la presencia de setos, vallas o cercas vivas (conectores), aunque puede valorarse desde una perspectiva netamente biológica o ecosistémica, no deja de ser un acto culturalmente mediado porque tales objetos vivos fueron planeados, transportados intencionalmente, sembrados y cuidados a través de procesos en los que intervinieron, tanto las visiones y posibilidades materiales de los agricultores, como sus niveles educativos, su poder de compra, sus conocimientos sobre las funciones de la

agrobiodiversidad, la presencia de vías de comunicación e incluso subsidios o políticas estatales y acompañamiento de asesores externos. Todo ello significa que los conectores externos e internos de las fincas también podrían ser valorados desde una perspectiva cultural.

Tabla 1. Indicadores ecosistémicos y culturales utilizados para estimar el índice EAP.

Indicadores ecosistémicos	Indicadores culturales
1. Conexión con la estructura ecológica principal del paisaje (CEEP).	1. Usos del suelo.
2. Extensión de conectores externos (ECE).	2. Prácticas de manejo agrícola (PMA) / Prácticas de manejo de ganadería pecuaria (PMg).
3. Extensión de conectores internos (ECI).	3. Prácticas de conservación (PC).
4. Diversidad de conectores externos (DCE).	4. Percepción-conciencia-conocimiento (PCC).
5. Diversidad de conectores internos (DCI).	5. Capacidad de acción (CA).

Sin embargo, la distinción de los primeros cinco criterios que se adscriben al mundo ecosistémico solo se hace por razones pedagógicas, porque se refiere a elementos vivos (agrobiodiversidad) que se instalan dentro de las fincas y que permanecen en ellas. Igualmente, porque su valoración puede realizarse mucho más fácilmente desde una perspectiva biofísica. Además, por lo menos los dos últimos indicadores de tipo cultural del índice EAP (percepción-conciencia-conocimiento y capacidad de acción) se refieren a las múltiples variables culturales que entran en juego, precisamente, para establecer tales conectores.

Por otra parte, debe entenderse que la EAP no tiene más pretensiones que la de servir como un descriptor de una cualidad (la estructura) de los agroecosistemas que se relaciona fuertemente con la agrobiodiversidad. No reemplaza otras funciones, características o cualidades de los agroecosistemas que deben ser estudiadas de manera paralela, pero, si se quiere, independiente. Es decir, la estimación de la EAP debe separarse del obligatorio estudio de suelos o de los análisis climáticos o geomorfológicos que correspondan para entender los agroecosistemas mayores y, al mismo tiempo, no sustituye otros estudios necesarios desde el punto de vista cultural (socioeconómico, político, simbólico, tecnológico).

Tampoco debe entenderse la EAP como una herramienta que valora otros atributos como la sostenibilidad o el desempeño agroecológico de los agroecosistemas. Se debe diferenciar de estas herramientas, una de las cuales — denominada TAPE (Tool For Agroecology Performance Evaluation)— ha sido propuesta por la FAO para “... facilitar procesos de toma de decisiones participativos e iterativos a través de un marco analítico por etapas...”. Advierte la FAO que “... la finalidad de TAPE es ayudar a realizar diagnósticos de los sistemas de producción en relación con distintas dimensiones (medioambiental [sic], social y cultural, económica, sanitaria y nutricional, y de gobernanza) y en una variedad de contextos (sistemas de producción, comunidades, territorios, zonas agroecológicas).

La EAP no reemplaza tampoco los estudios sobre la función de los agroecosistemas mayores, los cuales deben abordarse bajo otro enfoque. Es verdad que, como se presenta más adelante, la medición de la EAP contempla criterios e indicadores que poseen como base filosófica la mayor biodiversidad posible, articulada con los manejos agroecológicos o agronómicos de las fincas. Sin embargo, no mide las relaciones ni establece valores determinados para las distintas funciones de alimentación, protección, control, polinización, sombrero, alelopatía u otras que emergen de los sistemas complejos.

En este sentido la EAP puede complementar y relacionarse con los análisis de seguridad, soberanía y autonomía alimentaria, las relaciones de poder, la historia de un territorio, los sistemas de cooperativismo y los mercados, pero no puede dar cuenta de todos estos y otros parámetros de índole cultural que afectan a los agroecosistemas.

Por supuesto que las futuras investigaciones sobre el índice deberían abordar sus conexiones con múltiples variables de distinto orden. Por ejemplo, se pueden hacer relaciones EAP–sanidad de cultivos; EAP–producción; EAP–fertilidad de suelos; EAP–conservación de aguas; EAP–necesidades nutricionales de plantas; EAP–soberanía alimentaria; EAP–salud de consumidores; EAP–historia ambiental; EAP–resiliencia... entre muchos temas por explorar.

En las secciones siguientes se abordan los orígenes y la filosofía del concepto, su definición, la manera de calcularlo y algunas de las aplicaciones desarrolladas en distintos campos.

Concepción filosófica, origen y evolución del concepto

La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores surge esencialmente de las reflexiones en torno a la agroecología como ciencia y a su relación con otras disciplinas como la ecología del paisaje.

En efecto, toda ciencia debe tener claridad epistémica en relación con su objeto de estudio y, en este sentido, la agroecología ofrece un panorama amplio

de definiciones y conceptualizaciones que la abordan desde distintas posiciones y perspectivas, todas ellas de mucho valor en sí mismas. No es el propósito de este texto abordar la historia o los debates en torno a las concepciones de la agroecología, lo cual se ha realizado ya en múltiples estudios (al respecto, ver el volumen monográfico 10(2) del año 2015 de la revista *Agroecología* de la Universidad de Murcia), aunque una breve síntesis ayudará a entender la manera como la EAP se inserta en este naciente corpus académico.

Por ejemplo, Martínez-Chamorro (2018) realiza un acercamiento ético y moral de la agroecología y Casanova *et al.* (2016) discuten las conexiones de la agroecología con el pensamiento sistémico. Por su parte, Gómez *et al.* (2015) reflexionan sobre las bases epistemológicas principales de la teoría agroecológica identificadas como alternativas a las de la ciencia convencional, centrando su discusión en las alternativas a la disciplinariedad, el monismo epistemológico y el principio de simplicidad.

Una síntesis bien documentada y clara sobre las distintas concepciones sobre la agroecología y el agroecosistema, la ofrece Melgarejo (2019), quien revisa el papel de la agricultura como una forma eficiente de obtener energía en comparación con las actividades de caza, pesca y recolección pero que, a través del tiempo y de la mano de las innovaciones tecnológicas de la Revolución Industrial, se convirtió en una actividad que consume más energía de la que produce. A partir de allí, y refiriendo las afectaciones ambientales causadas por la Revolución Verde, el autor pasa revista al origen del concepto y de la ciencia agroecológica, citando la perspectiva de diferentes autores, lo cual condensa en la Figura 5.

En la síntesis de Melgarejo (2019) aparecen citados Wesel y Soldat (2009) y Gliessman (2013) quienes recogen los aportes pioneros del agrónomo ruso Basil Bensin en 1930, de Azzi en 1956, Tischler en 1965 y Jansen en 1973, investigadores que utilizaron la palabra 'agroecología' para describir relaciones ecológicas en el manejo de cultivos y estudiarlas en el contexto de la producción, el manejo de plagas, los métodos de labranza y los conocimientos locales. Un trabajo similar de recopilación de estos primeros esfuerzos provenientes de la agronomía clásica lo realizó León-Sicard (2014).

Posteriormente estos autores analizan la evolución del concepto que se da especialmente en América Latina, bajo los trabajos de Loucks, 1977; Hart, 1985; Altieri (1987; 1989, 1994; 1995a; 1995b; 1999a; 2002); González, 1992; Sevilla y González, 1993; Mejía, 1995; Navarro, 1997; Gliessman *et al.*, 1998; Gliessman, 1998, 1990, 1995, 2013; Hecht, 1999; Altieri y Nicholls, 2000; Guzmán *et al.*, 2000; Sarandón, 2002; Ruiz-Rosado, 2006; Sevilla, 2006; Gliessman *et al.*, 2007; Perfecto *et al.*, 2009; León-Sicard, 2010, 2014; Altieri y Toledo, 2011; Guzmán y Woodgate, 2013; Méndez *et al.*, 2013; Sarandón y Flores, 2014; Gómez *et al.*, 2015, entre muchos otros.

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas

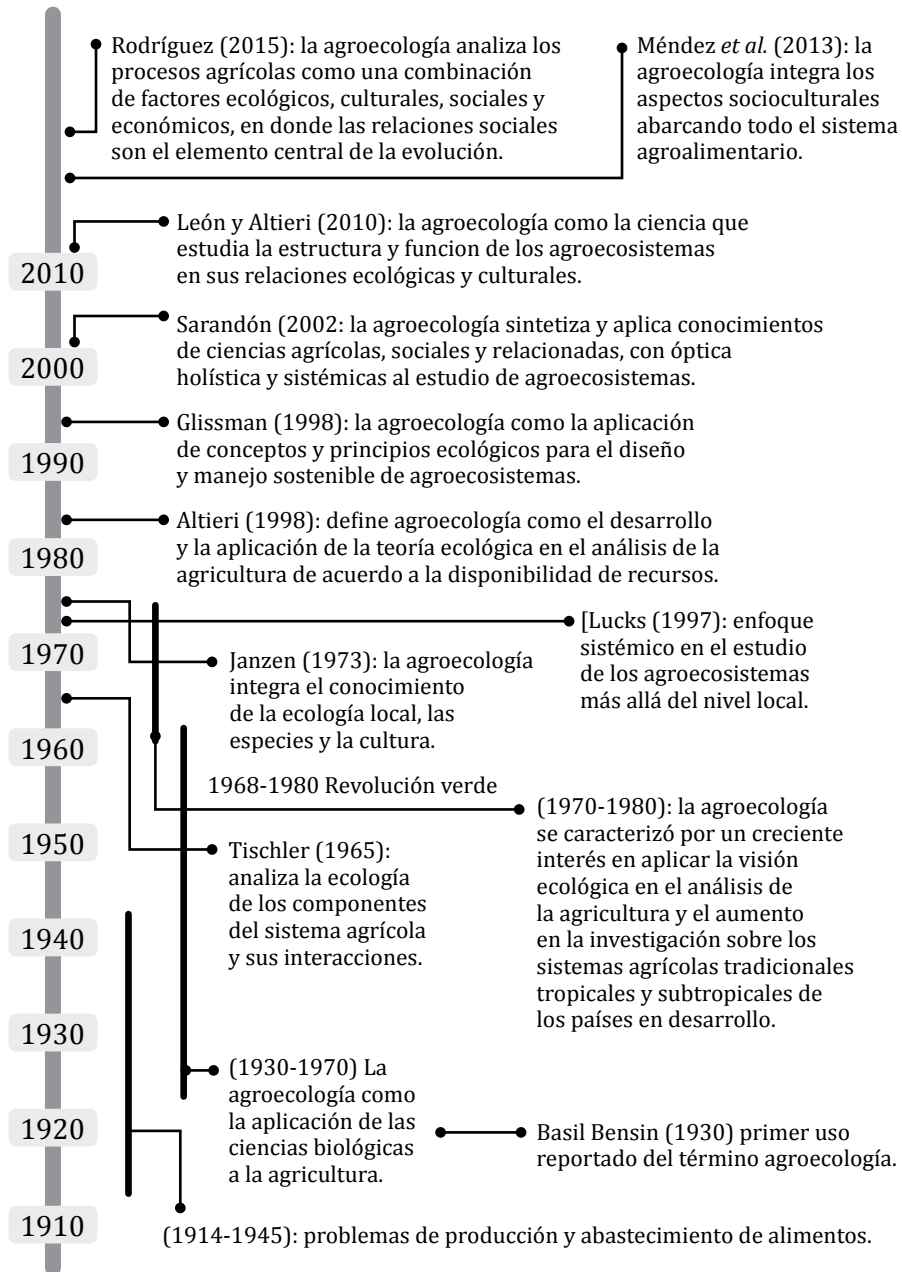


Figura 5. Evolución del concepto de agroecología según varios autores. (Fuente: tomado de Melgarejo, 2019).

En síntesis, lo que plantea Melgarejo (2019) en la Figura 6 es que existe un acercamiento a la definición de agroecosistema en función de las relaciones e interacciones que suceden entre sus distintos elementos o componentes biofísicos y culturales, que se analizan como un todo dentro de una visión sistémica, como lo había planteado León-Sicard (2014). Por otra parte, complementa esta visión con la que sostienen varios autores al considerar el agroecosistema como un ecosistema antrópicamente modificado y "...adaptado para producir aquellos bienes y servicios que una sociedad decide que son necesarios para su bienestar y satisfacción, donde tienen lugar las interacciones entre el sistema ecológico con el sistema sociocultural, la economía, la tecnología y la política...".

En las dos concepciones se acepta entonces la complejidad y la diversidad de significados y de aproximaciones al agroecosistema y se le concede el que sea comprendido como el centro de la ciencia agroecológica.

El encuentro con la ecología del paisaje

Refiriéndonos de nuevo a las propiedades o cualidades que caracterizan al agroecosistema, emerge la idea de la Estructura Agroecológica Principal como un elemento central de su identificación, de las explicaciones de su funcionamiento y de sus relaciones ambientales en el paisaje. Es en este último sentido cuando encuentra su complemento con algunas aproximaciones realizadas por otros investigadores, en el caso colombiano, con lo expuesto por Van der Hammen y Andrade (2003). Estos autores propusieron el concepto de la Estructura Ecológica de Soporte de la Nación (EES), compuesto por la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (EEP) y la Infraestructura Ecológica (IE), como una manera de abordar los graves procesos de deterioro de los bienes naturales en la escala de país.

Así, la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (EEP) fue definida por Van der Hammen y Andrade (2003), como el conjunto de ecosistemas naturales y seminaturales que tienen una localización, extensión, conexiones y estado de salud, tales que garantizan el mantenimiento de la integridad de la biodiversidad y la provisión de servicios ambientales (agua, suelos, recursos biológicos y clima), como medidas para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de los habitantes y la perpetuación de la vida.

Así mismo, definieron la Infraestructura Ecológica (IE), como el conjunto de relictos de vegetación natural y seminatural, corredores y áreas a restaurar en los agroecosistemas y otras áreas intervenidas del país (centros urbanos y otros sistemas construidos) que tiene una funcionalidad en la conservación de la biodiversidad, la productividad y la calidad de la vida de la población.

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas

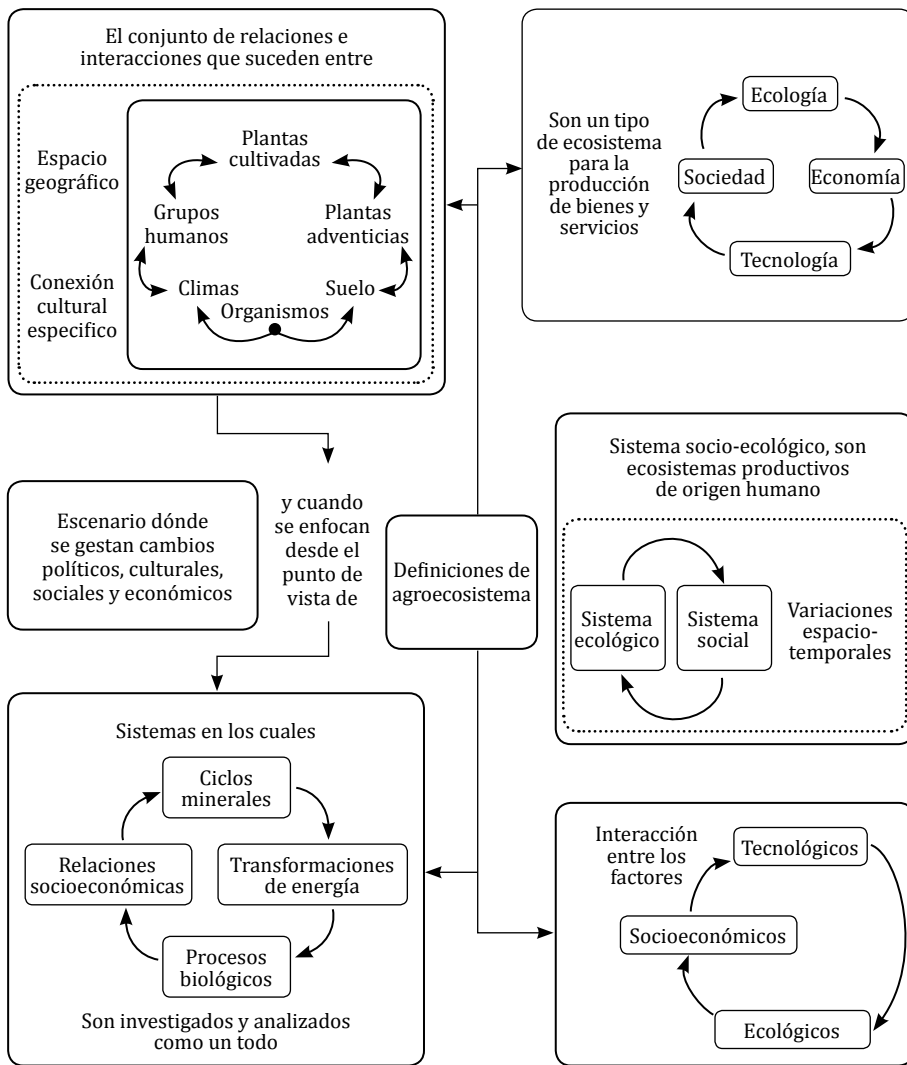


Figura 6. Aproximaciones al concepto de agroecosistema. [Fuentes: adaptado de Melgarejo (2019); basado en Hernández (1997); Altieri y Nicholls (2000); Gliessman (2002); León-Sicard (2010); Sarandón y Flóres (2014) y Barrezueta (2015)].

Aunque dichos autores no generaron documentos posteriores para explicar los alcances de estos dos conceptos, ni los procesos metodológicos para su medición y aplicación, la mención de los agroecosistemas en la IE provocó una serie de preguntas relacionadas con el papel de la agroecología y de los agroecosistemas dentro de los paisajes, que acercan la agroecología con la ecología del paisaje.

No es que exista una IE compuesta por vegetación que es necesario restaurar dentro de los agroecosistemas. Es que los agroecosistemas se constituyen en la matriz dominante de muchos o de casi todos los paisajes transformados y así, los remanentes de bosques, corredores u otros tipos de vegetación natural o seminatural, hacen parte de los agroecosistemas.

Al entender entonces a los agroecosistemas como unidades principales de los territorios, la agroecología se acerca bastante a la ecología del paisaje y comparte con ella otras preocupaciones adicionales sobre conservación de especies animales y vegetales, aunque mantiene su independencia respecto de las variables que ya fueron mencionadas de producción, resiliencia y estabilidad, en concordancia con los límites establecidos en los derechos de propiedad y uso.

El autor ya había hecho notar la confluencia de estas dos disciplinas cuando a ese propósito escribió que “El concepto de EAP se formula justamente para entablar el necesario diálogo entre la ecología del paisaje y la agroecología...” (León-Sicard, 2014, p. 160), señalando que en sus inicios, aquella disciplina se enfocaba principalmente en las investigaciones relacionadas con objetivos de conservación de ecosistemas y manejo de la vida silvestre, y al respecto citaba a Christensen *et al.* (1996) y a Barnes (1999).

Este último autor resume las definiciones y funciones de la estructura ecológica del paisaje, ampliamente conocida ahora como la distribución de parches o áreas dispersas y no lineales, y de corredores o franjas de vegetación, ubicados dentro de matrices o coberturas dominantes y de mayor conexión en un paisaje dado. Otros autores, trabajando sobre estos conceptos fundacionales de la ecología del paisaje, desarrollaron un fuerte *corpus* teórico y muchas derivaciones prácticas para comportamiento animal relacionado con los anteriores elementos del paisaje, incluyendo estudios sobre las formas, tamaño, aislamiento de parches (teoría de islas), efectos de borde y fragmentación de hábitats y sus consecuencias sobre la evolución y la conservación de distintas especies animales (Barnes, 1999).

Por lo tanto, la ecología del paisaje se interesaba por comprender las interacciones entre los patrones de distribución espacial de los distintos tipos de coberturas y sus efectos en numerosos procesos ecológicos de distintas intensidades y escalas (Turner *et al.*, 2001), empleando esencialmente el modelo parche–corredor–fragmento–matriz propuesto por Forman y Godron (1986).

Sin embargo, es la publicación del libro *La matriz de la naturaleza: ligando agricultura, conservación y soberanía alimentaria* (Perfecto *et al.*, 2009) el hito que marca un cambio de paradigma de una ecología del paisaje basada en la dinámica de las coberturas vegetales, principalmente remanentes de bosques o corredores biológicos, hacia una nueva mirada de la biología de la conservación que incluye repensar las matrices para darle un destacado puesto a la matriz de agroecosistemas que los citados autores llaman la ‘*matriz natural*’.

En efecto, este reconocimiento de la matriz natural es clave para las dos disciplinas mencionadas. En tanto que abre una nueva puerta para la ecología del paisaje —que ahora se preocupa por entender la manera como las distintas especies animales y vegetales se comportan en función de una serie de coberturas, no necesariamente boscosas, sino ligadas más a los distintos tipos de cultivos (permanentes, semipermanentes, transitorios, en monocultivo, policultivos o en arreglos multiestrato) —, también ilumina una nueva vía de trabajo para la agroecología, cuyos investigadores advierten las necesarias conexiones de las fincas individuales en territorios más amplios, en donde pueden originarse o modificarse condiciones ambientales que afectan a los mismos sistemas productivos.

En pocas palabras, la ecología del paisaje comprendió por fin que existían unos socio-ecosistemas diferentes al ecosistema, mientras que la agroecología también reconoció que había que extenderse más allá de las fronteras físicas de los agroecosistemas.

En este proceso las dos disciplinas han desarrollado nuevos enfoques metodológicos relacionados con distintos campos. Para solo mencionar un ejemplo, podemos referirnos a la agroecología y a sus relaciones con la *restauración ecológica*. Tanto ésta, como la *biología de la conservación*, dirigen sus metas, estrategias y objetivos a conservar, manejar o recuperar bosques, matorrales o sabanas naturales para mejorar las condiciones de hábitat, alimentación y refugio a distintas especies, tanto en áreas consideradas como baldíos o de propietarios institucionales, como en zonas de vocación y uso principalmente agropecuario; es allí donde finalmente convergen, en parte, las citadas disciplinas y la agroecología.

En efecto, los restauradores ecológicos no operan ya en el vacío o en la abstracción de coberturas vegetales sin propietarios, sino que sus procedimientos incluyen obligadamente el consentimiento de los agricultores quienes, por distintas razones, podrán permitir que se utilicen sus predios, bien sea para controlar alguna especie invasora o para establecer cortinas corta-fuegos, o para recuperar especies de alto valor ecológico y económico que se encuentren en peligro de extinción o en categorías similares. No obstante, como lo indican León-Sicard y Vargas (2017), tales especies y/o procedimientos deberían “...generar beneficios productivos a los agricultores, en términos, por ejemplo, de ayudar en el control de insectos plaga, reducir la intensidad de la erosión, aumentar la fertilidad de los suelos o conservar nacaderos de agua...” (p. 21).

Con relación a los acercamientos metodológicos de la agroecología y la restauración ecológica, los autores mencionados afirman que “las dos disciplinas utilizan herramientas espaciales de valoración ecológica de coberturas e intentan conectar parches, corredores o relictos de bosques para aumentar las interacciones benéficas en los campos de cultivo e incrementar las posibilida-

des de supervivencia de especies salvajes o en vías de extinción” (León-Sicard y Vargas, 2017 p. 21). Pero en sus presupuestos teórico-prácticos también están los propósitos de aumentar la resiliencia de los agroecosistemas ante distintos tipos de disturbios, asegurar su estabilidad e incidir en su productividad. Finalmente, ambas disciplinas incorporan las complejas relaciones culturales de los agricultores campesinos en la conformación de sus predios y redes espaciales de vegetación, como un insumo indispensable para comprender las dinámicas evolutivas del paisaje dentro de las matrices de agroecosistemas.

Lo anterior es una clara expresión de las relaciones íntimas que unen a la ecología del paisaje con la agroecología, puesto que las dos disciplinas reconocen la complejidad de los agroecosistemas y sus conexiones en el paisaje, como parte de la naturaleza epistémica de sus respectivos corpus teóricos.

Como obligado corolario, la Estructura Agroecológica Principal de las fincas aparece, entonces, como un instrumento que enlaza a estas disciplinas, por cuanto toma elementos de los mismos agroecosistemas y, como se verá más adelante, los enlaza con la posición y las relaciones que emergen de una lectura detenida del paisaje. En efecto, la EAP reúne en un índice ambiental, la configuración o arreglo espacial de la agrobiodiversidad al interior de las fincas en términos de la combinación de sus diferentes cultivos, bosques, matorrales, herbazales y cercas vivas, bajo un enfoque que intenta unir tales expresiones de varios agroecosistemas individuales en su conjunto (denominado ahora *matriz de agroecosistemas*), como base de las explicaciones que ocurren en la evolución de los paisajes. Los fenómenos que se presentan en el nivel particular de las fincas se transmiten luego a nivel colectivo en el paisaje.

En consecuencia, la EAP posee una obligada referencia metodológica cuando se trata de ubicar a la finca individual —o al conjunto matricial de agroecosistemas—, dentro de las relaciones del paisaje; para ello aplica varias métricas, un tanto modificadas, que son de común uso en la ecología del paisaje y sobre las cuales se profundizará más adelante en este libro.

Sin entrar en más detalles, en la Figura 7 se puede advertir que algunas relaciones de la finca con el paisaje, así como los efectos de los paisajes sobre las fincas, variarán en función de estas métricas. Así, se muestra el caso A en el que una finca se encuentra bien articulada en su interior pero relativamente desconectada del resto de coberturas vegetales que dominan en ese paisaje (un imaginario bosque de galería). Igualmente, se encuentra lejos de un parche aislado y de un conjunto de coberturas que configuran un parche mayor. Como se verá más adelante, este análisis aún resulta incompleto desde la óptica de la agroecología, porque habría que visibilizar los límites de las fincas de cuyas áreas hacen parte tales parches a fin de lograr una mejor comprensión de las relaciones que allí ocurren. Ello porque, como se ha venido insistiendo en estas páginas, todas las coberturas vegetales de todos los paisajes tienen dueños y son ellos los que deciden cómo manejarlas.

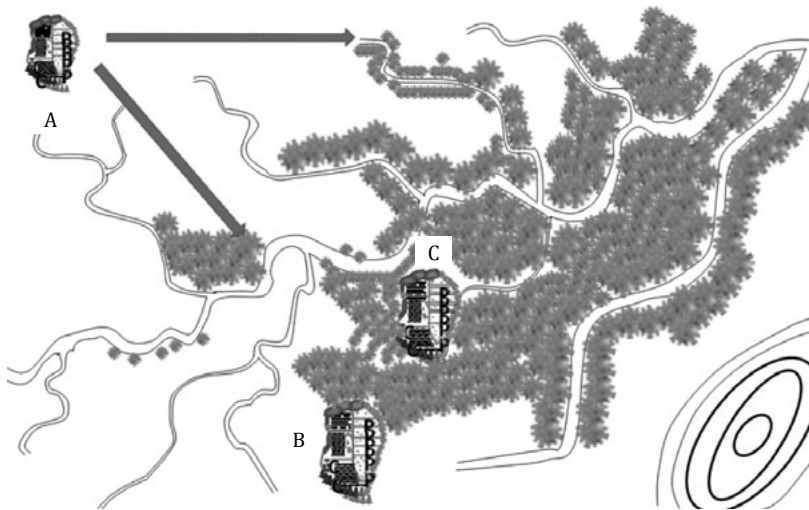


Figura 7. Relaciones espaciales de fincas con EAP desarrollada, en posiciones distintas e hipotéticas (A, B, C). (Fuente: tomado de León-Sicard, 2014).

Por su parte, los casos B y C de la Figura 7 muestran a la misma finca conectada solamente por uno de sus bordes (B) o completamente rodeada de vegetación (C), situaciones hipotéticas que originarían diferentes relaciones con predadores, enemigos naturales, polinizadores, plantas herbáceas, recicladores de materia orgánica, controladores de erosión y otros organismos con funciones disímiles.

No obstante, tales relaciones no se dan solamente en términos de presencia o ausencia de determinadas coberturas vegetales (el análisis puede y debe ampliarse a otros tipos de coberturas, más allá de los bosques, como son los herbazales, arbustales u otros tipos de coberturas mixtas). Los análisis también deberían incluir las relaciones de estos agroecosistemas mayores con las fincas vecinas, cuya lectura modifica necesariamente la primera impresión que tiene el observador sobre las relaciones exclusivamente entre tipos de vegetación, tema que se abordará más adelante en este libro.

Lo anterior implica que la agroecología tendrá que crear sus propias métricas del paisaje para incluir en ellas el componente cultural de los agroecosistemas y para apoyar las visiones que se ejercen desde las ciencias de la conservación biológica, cuando intentan leer el paisaje complejo dominado por agroecosistemas mayores.

Como consecuencia de todo lo anterior, también es posible adelantar la idea que la estructura de los agroecosistemas debe ser igualmente compleja, porque no se trata solamente de un objeto físico aislado, sino todo lo contrario. La estructura de los agroecosistemas está compuesta por un conjunto de elementos bióticos o ecosistémicos que se entrelazan y se movilizan o

funcionan en relación con los objetivos, medios y posibilidades de determinados grupos humanos. No es una estructura estática, sino dinámica, cambiante y evolutiva.

La EAP como estructura disipativa

Aceptemos que, en un primer momento, existen elementos de la estructura de los agroecosistemas “fácilmente” identificables, como las coberturas vegetales (cultivos, plantaciones, bosques, cercas vivas) y los cuerpos de agua, y su disposición en el relieve. Otros no tan fácilmente identificables, como el clima y los organismos animales (incluyendo la microbiota edáfica). También es posible aceptar que estos elementos “macro” se introducen, despliegan, permanecen o se modifican, al tenor de muchas variables del orden cultural que incluyen, tanto los deseos y posibilidades económicas de los agricultores, como las variables que escapan a su control (políticas públicas, mercados, disposiciones legales del ordenamiento territorial, otros procesos sociales).

Todas estas variables, en segmentos de tiempos determinados, tenderán a conservarse o al menos a seguir determinadas trayectorias de búsqueda de equilibrios. A menos que existan disturbios continuos que destruyan la estructura de las fincas (guerras, inseguridad, cambios abruptos en los usos generales de las tierras de una determinada región), tienden a conservarla —de manera dialéctica, por supuesto— dentro de ciertos rangos aceptables por la sociedad del momento.

De esta manera, la estructura de las fincas refleja en parte su historia de uso y así mismo las posibilidades de asimilar cambios de cualquier índole. En este último sentido es que la EAP se puede asimilar a las *estructuras disipativas*, a la manera en que éstas fueron descritas por los físicos.

El concepto de estructura disipativa se origina en los trabajos de Ilya Prigogine (1983) respecto a la organización en sistemas alejados del equilibrio. Dicho autor propone que cuando aparece un disturbio externo relacionado en estos sistemas, por ejemplo aumentos de temperatura, ello tiende a generar un cierto orden colectivo que se mantiene en cuanto la fuente de energía permanezca. Se aplica a sistemas abiertos que intercambian materia y energía con su entorno próximo y que no poseen estados previos de equilibrio (Deng *et al.*, 2017). En palabras de Prigogine (1983) y Prigogine y Lefever (1973), tales estructuras pueden considerarse como una fluctuación amplificada, estabilizada por las interacciones con el entorno, que se automantienen en virtud de los procesos de retroalimentación del flujo energético que emana de la misma perturbación.

Adicionalmente, como lo afirman Prigogine (1983) y Wagensberg (1998), los sistemas alejados del equilibrio en general se adaptan a sus entornos físicos hasta conseguir la menor disipación posible de energía, a través de lo que

otros autores denominan '*mecanismos de autoorganización*' o '*autopoiesis*' (Maturana y Varela, 2004).

Un amplio espectro de disciplinas científicas ha asimilado este concepto en múltiples aplicaciones que van desde la física y la ingeniería hasta las ciencias de la salud y las humanidades (Ahn, 1998; Almendro y Weber, 2012; Deng *et al.*, 2017; Marchettini *et al.*, 2010; Pulselli *et al.*, 2009; Shvartsev, 2009; Zhao *et al.*, 2000; Zhan y Sheng, 1998). La estructura disipativa también se ha aplicado en estudios ecosistémicos de relaciones alimenticias entre especies (Segel y Jackson, 1972), en ecología evolutiva (Bazykin *et al.*, 1983; Emig, 1985) y en el estudio de la estructura y las funciones biológicas a nivel genético (Martínez y Carlsson, 1974). Igualmente, se ha utilizado en diversos campos de la agronomía (Tuzinkevich y Frisman, 1990; Wang, 1992).

Por su propia naturaleza los agroecosistemas son sistemas alejados del equilibrio pues continuamente están expuestos a flujos energéticos y reciben e intercambian materiales de distinta índole, por lo cual el resultado neto de sus procesos internos es un acercamiento incesante a permanentes estados oscilatorios de equilibrio y, por lo tanto, nunca se obtiene un equilibrio final o definitivo.

Muchos agroecosistemas, especialmente aquellos manejados con principios o criterios agroecológicos, son capaces de asimilar disturbios externos de distinta naturaleza, ya sea naturales o antrópicos, y en estos procesos pueden conservar o modificar sus estructuras internas como respuesta a tales disturbios (por ejemplo, cambios de precios en el mercado, fenómenos de la variabilidad o el cambio climático, aparición súbita de enfermedades o ataques de insectos), conservando sus funciones principales espacial y temporalmente, y alcanzando equilibrios pasajeros de mayor o menor duración³.

Es pertinente entonces indicar que la presencia de determinados elementos bióticos (vegetales y animales) en los agroecosistemas y su configuración espacial, representadas en este caso por la EAP, constituye una estructura disipativa en sí misma, pero de orden cultural. Y lo es porque, como ya se ha señalado, la disposición final de las plantas de cultivo o de aquellas que sirven de conectores, como vallas o setos vivos, e incluso la entrada de determinados animales (abejas, ganado mayor o menor), responde a las decisiones que toma el propietario, las que, a su vez, están mediadas por intereses económicos y posibilidades tecnológicas concretas, ligadas a las dinámicas políticas y socioeconómicas de las regiones en que se ubican las fincas particulares.

³ Tales supuestos "equilibrios pasajeros" se asumen en un sentido macro, de integralidad referida a constituyentes biofísicos que pueden percibirse como la totalidad de la finca, pero que esconden los juegos e interacciones infinitamente limitados de los mundos meso y microbióticos, que avanzan dialécticamente en intercambios de equilibrio-no equilibrio.

Ello porque el agroecosistema es un sistema abierto que interactúa constantemente con distintos factores de orden biofísico o ecosistémico, simbólico, organizacional y tecnológico; en tal sentido, la EAP hace posible incrementar las probabilidades de mantener su funcionalidad, incorporando, disipando o usando la materia, energía o información proveniente de las perturbaciones externas, ya sean ellas biofísicas o culturales. En este sentido, por ejemplo y como lo señalan León-Sicard *et al.* (2018):

...la mayor agrobiodiversidad disponible en una granja permite que las diferentes plantas ubicadas en estratos diversificados y con diversos fenotipos y genotipos tengan una mayor resistencia biofísica frente a las perturbaciones climáticas, pero también amplios rangos de respuesta en términos económicos y sociales ante disturbios de diferentes orígenes y clases... (p. 445).

Tanto la EAP actual, como la EAP potencial⁴, pueden ayudar a determinar cuáles componentes y de qué manera pueden modificarse para resistir o disipar distintas clases de disturbios.

Por ejemplo, si la perturbación tiene que ver con modificaciones súbitas de los precios de mercado del cultivo principal, las fincas con una EAP que incluya policultivos y diversificación espacial-temporal podrán responder mejor a tales modificaciones. Si se trata de efectos climáticos adversos, como sequías o abundantes lluvias, igualmente el uso de coberturas del suelo, la siembra de variedades resistentes, el manejo de arvenses o el uso de elementos para recolectar y almacenar agua o para drenarla —prácticas que son en sí mismas la consecuencia de procesos sociales o económicos—, ayudarán a disipar tales presiones climáticas.

A manera de síntesis, la EAP puede entenderse como una estructura disipativa de índole o naturaleza cultural que, a medida que se incrementa con sucesivas acciones tendientes a aumentar la cantidad de interrelaciones vegetales y animales en las fincas, mejora y fortalece propiedades emergentes de los agroecosistemas relativos, tanto a su producción y productividad, como a su resiliencia, estabilidad o disminución de los factores de riesgo (entre ellos, sequías, inundaciones, erosión, salud de humanos y animales, ingresos económicos o empleo, entre muchos otros).

Como corolario se puede afirmar que, entre más fuerte sea la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas, mayores serán sus posibilidades de disipar efectos negativos causados por disturbios externos, ya sean ellos de origen económico, social, político o biofísico.

⁴ La EAP potencial se refiere al proceso de planificación que resulta en una configuración futura de las fincas, atendiendo a criterios de conectividad (León-Sicard, 2014).

Capítulo 3

Medición de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores

La medición de la EAP tiene, en principio, una dificultad principal y dos enfoques diferentes. La dificultad se relaciona con que los agroecosistemas mayores o fincas no se pueden ver en el paisaje, a menos que sea a partir del conocimiento del propio agricultor. Por su parte, los enfoques se refieren al tipo de medición, que puede ser rápida o a profundidad. A continuación se revisarán estos asuntos por aparte.

La principal dificultad

Como se acaba de anotar, los agroecosistemas mayores no se observan fácilmente en el paisaje porque sus límites hacen parte del mundo simbólico, es decir, se han pactado entre vendedores y compradores de las tierras, apelando a figuras jurídicas de tenencia que generalmente se oficializan mediante escrituras de propiedad registradas ante distintas autoridades nacionales.

En tales procedimientos se pactan los límites de las fincas, los cuales se describen apelando, en muchas ocasiones, a límites naturales como quebradas, cañadas, montículos, parteaguas, arboledas, caminos u otros elementos del paisaje. En otras ocasiones se realizan a partir de la división artificial de lotes marcados por cercas de alambre. El resultado es una sucesión de líneas imaginarias que circunscriben un perímetro determinado, que existe en la documentación oficial y que sólo los propietarios pueden reconocer cuando lo han materializado en terreno a través de delimitaciones físicas (cercas de alambre, muros de piedra) o biofísicas (setos, vallas, cercas vivas). Para los demás usuarios u observadores del paisaje estos perímetros son de difícil o imposible detección.

En Colombia tales procedimientos de compra-venta se oficializan en notarías, las cuales luego envían la información a las Oficinas de Registro de

Instrumentos Públicos. Paralelamente, el Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” (IGAC) realiza el levantamiento catastral de los predios, fincas o lotes, con información proveniente de censos prediales y luego conforma mapas catastrales de fácil acceso público.

Esta imposibilidad de ver físicamente la división o los límites de los agroecosistemas mayores ha llevado a varias instituciones y autores a realizar estudios solamente con base en la distribución de cultivos, praderas o sistemas agrosilvopastoriles o agroforestales (agroecosistemas menores), separándolos usualmente de bosques, arbustales, herbazales y otros tipos de coberturas que, por lo general, hacen parte de fincas, haciendas o ejidos (agroecosistemas mayores); esta práctica ha generado análisis imperfectos o, por lo menos, parcialmente equivocados. Ello por cuanto invisibilizan las relaciones culturales que tienen lugar en las fincas, las que son manejadas, administradas, gerenciadas, apropiadas —o como se le quiera llamar—, por sus propios dueños, agentes económicos, actores sociales o —como también se les quiera llamar—, por seres humanos que tienen agencia, propiedad, capacidad de decisión y derechos en tales agroecosistemas. Los mapas elaborados con la metodología Corine Land Cover (Coordination of Information on Environmental Land Cover) son un ejemplo de este reduccionismo.

En efecto, esta metodología de origen europeo considera los territorios agrícolas exclusivamente en términos de cultivos transitorios, permanentes, pastos y áreas agrícolas heterogéneas, pero en ninguna parte reconoce la categoría de agroecosistemas mayores o fincas. A su vez, estas también desaparecen cuando se delimitan los bosques (densos, abiertos, fragmentados, de galería, ripario y plantaciones forestales), las áreas seminaturales (herbazales, arbustales, áreas abiertas sin o con poca vegetación), las áreas húmedas y superficies de agua (que incluye canales de riego, cuerpos de agua artificiales y estanques para acuicultura) (IDEAM, 2010).

Por supuesto que la crítica sobre la invisibilización de los agroecosistemas mayores, no invalida la importancia y las aplicaciones de la metodología Corine Land Cover en estudios comparativos de uso de la tierra a escalas pequeñas. Lo que se desea resaltar es que los agroecosistemas no se cartografían de la mejor manera cuando se trata de realizar estudios a nivel paisajístico con objetivos de planificación territorial y ello constituye una deficiencia que es preciso subsanar porque de plano tal metodología desecha todas las variables de los actores que realmente influyen en los territorios.

El asunto pasa, al menos en Colombia, por las deficiencias presupuestales e históricas que el país ha afrontado con relación a la actualización de su catastro y con la desvinculación de este a los procesos de ordenamiento territorial. Pero también pasa por la escasa reflexión que hasta ahora se ha dado en términos de vincular las fincas, no solo como expresiones biofísicas del territorio a esos ordenamientos territoriales, sino como unidades culturales vivas,

es decir, habitadas por seres humanos con trayectorias históricas, visiones, deseos y capacidades.

En otras palabras, los ordenamientos territoriales y los intentos de planificación rural en Colombia han invisibilizado la presencia y las voces de los agricultores campesinos; no obstante, la agroecología ofrece un mecanismo de planificación que revierte esta situación colocando los agroecosistemas mayores y las matrices de agroecosistemas en una perspectiva de análisis, la EAP, que puede resultar útil para integrarlas a una verdadera transformación positiva de los territorios.

Los enfoques

Como ya se mencionó, los enfoques de medición de la EAP obedecen a las evaluaciones realizadas en profundidad o a las estimaciones rápidas.

Así, la evaluación a profundidad de la EAP exige el acceso a imágenes de percepción remota, sean ellas fotografías aéreas tomadas con drones o con aviones, imágenes satelitales o captadas mediante cualquier otro instrumento, por ejemplo, radares. Pero además, exige profesionales que, a la vez que pueden interpretar y calcular áreas en tales imágenes, sean capaces de acercarse a los agricultores para establecer diálogos en los que se puedan intercambiar conocimientos acerca de la agrobiodiversidad y de su importancia local. En este sentido, se necesitan conocimientos para seleccionar tales imágenes y para “leer” el paisaje y las fincas a partir de ellas, a fin de entender las coberturas vegetales en función, tanto de los sistemas productivos, como de los procesos o servicios ecológicos que se desea mantener. Esto puede realizarse con el concurso de grupos interdisciplinarios más o menos complejos en la medida en que cada situación lo requiera.

Si se trata de estudios de doctorado o de planificación territorial financiados por el Estado, en estos grupos pueden participar profesionales en agroecología, agronomía, medicina veterinaria, expertos en sistemas de información geográfica, ecología, economía o sociología. Si se trata de otro tipo de trabajos, con menos financiación y con objetivos diferentes, tales grupos pueden reducirse significativamente e incluso el trabajo pueden realizarlo una o dos personas, a condición que posean visión ambiental o agroecológica.

Por su parte, en los casos en donde los recursos de dinero y tiempo son limitados, el levantamiento de la EAP se puede realizar de manera rápida e igualmente valiosa, apelando a los materiales locales y al acompañamiento de las comunidades. En tal sentido, en este mismo documento se presentará una experiencia realizada por Lozano (2019) que muestra la manera cómo se resolvieron las dificultades inherentes a una baja financiación y nulo acceso a imágenes de percepción remota con resultados excelentes, siendo un

ejemplo de la modalidad de evaluación rápida de la EAP realizado con la participación de la comunidad.

Se requieren mediciones serias y rigurosas de la EAP para establecer correlaciones con otras variables o propiedades de los agroecosistemas mayores y, en la medida en que ello se realice, seguramente se encontrarán efectos multidireccionales que guiarán las modificaciones que se requieran para aumentar la productividad, la resiliencia, la sanidad vegetal o cualquier otro aspecto que se desee. Las valoraciones rápidas proveen argumentos demostrativos, educacionales o pedagógicos que pueden ser utilizados para intervenciones prácticas de corto plazo.

En los apartados siguientes se describen los principales procedimientos para medir la EAP, a partir de los trabajos de León-Sicard (2010); León-Sicard *et al.* (2014); Cleves-Leguízamo, 2018; Daza (2020) y Quintero (2020).

Los procedimientos de medición de la EAP

A partir de la definición inicial dada por León-Sicard (2010), la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores (EAP por sus siglas en español y MAS por sus siglas en inglés correspondientes a *Main Agroecological Structure*), se aplicó en un trabajo pionero realizado en la Sabana de Bogotá, Colombia (León-Sicard *et al.*, 2011) que utilizó una fórmula que reunía, sin ponderar, 10 criterios (antes denominados indicadores) de tipo ecosistémico y cultural, en una sumatoria simple cuyo máximo valor era 100. En este orden de ideas, cada criterio utilizado tenía un valor máximo de 10.

La selección inicial de estos criterios no se realizó a partir de consensos técnicos, al estilo Delphi, sino que fue el producto de las reflexiones internas del grupo de trabajo sobre cómo valorar esta característica a partir del análisis de trabajos dispersos en la literatura que poco o nada aludían a la estructura de los agroecosistemas.

A medida que se realizaron diversas experiencias en otros agroecosistemas (León-Sicard *et al.*, 2014, Martínez, A. 2014; Córdoba y León-Sicard, 2013; Cepeda-Valencia *et al.*, 2014; Pinzón, 2014; Cleves-Leguízamo *et al.*, 2017; Cleves-Leguízamo, 2018) la medición del índice —e incluso la formulación de los conceptos que distinguen los elementos que en él se utilizan—, han venido evolucionando hasta estructurarse bajo los criterios que se presentan en la Tabla 2.

Vale la pena recalcar que, atendiendo a las propuestas de clasificación de indicadores para la evaluación de sostenibilidad de Masera *et al.* (2000), así como las de manejo de sistemas productivos de Barrantes *et al.* (2018), en este libro se propone utilizar la misma clasificación jerárquica que, para el caso del índice EAP, contempla:

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

- Atributos del sistema a medir: agrobiodiversidad.
- Dimensiones: ecosistémica y cultural.
- Criterios: diez categorías componen el índice; cinco son de tipo ecosistémico:
 - * *Conexión de la finca con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (CEEP).*
 - * *Extensión de Conectores Externos (ECE).*
 - * *Extensión de Conectores Internos (ECI).*
 - * *Diversidad de Conectores Externos (DCE).*
 - * *Diversidad de Conectores Internos (DCI).*

y cinco son de tipo cultural:

- * *Usos del suelo (US).*
- * *Prácticas de Manejo Agrícola (PMA) y/o Prácticas de Manejo Ganadero (PMG).*
- * *Prácticas de Conservación (PRC).*
- * *Percepción-Conciencia-Conocimiento (CON).*
- * *Capacidad de Acción (CA).*
- Indicadores: la herramienta cuantitativa o semicuantitativa utilizada para evaluar los anteriores criterios.

A continuación se presenta una síntesis del propósito general de cada uno de los criterios seleccionados (Tabla 2).

Tabla 2. Propósito general de cada uno de los diez criterios seleccionados para evaluar la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores (fincas).

No. Criterio	Criterio	Sigla	Propósito
1	Conexión con la estructura ecológica principal del paisaje	CEEP	Valorar la distancia y las relaciones de la finca con los fragmentos cercanos de vegetación natural, principalmente coberturas vegetales y cuerpos de agua.
2	Extensión de conectores externos	ECE	Determinar el porcentaje de la extensión lineal de las cercas vivas, presentes en el perímetro de la finca.
3	Extensión de conectores internos	ECI	Determinar el porcentaje de la extensión lineal de las hileras de vegetación presentes dentro de la finca.
4	Diversidad de conectores externos	DCE	Evaluar la diversidad de las cercas vivas o setos localizados en el perímetro del agroecosistema mayor.
5	Diversidad de conectores internos	DCI	Evaluar la diversidad de las cercas vivas internas.

No. Criterio	Criterio	Sigla	Propósito
6	Usos del suelo	US	Determinar la distribución porcentual de diferentes coberturas de uso de la tierra al interior del agroecosistema mayor.
7	Prácticas de manejo agrícola Prácticas de manejo ganadero	PMA PMG	Valorar las prácticas ecológicas o convencionales de los sistemas productivos, agrícolas o pecuarios, presentes en cada finca.
8	Prácticas de conservación	PRC	Valorar las prácticas de conservación de suelos, agua o biodiversidad que se utilizan en las fincas
9	Percepción-conciencia-conocimiento	CON	Conocer el grado de claridad conceptual y conciencia de los productores respecto de la agrobiodiversidad.
10	Capacidad para la acción	CA	Evaluar las capacidades y posibilidades de los agricultores para establecer, mantener o mejorar su EAP.

Fuente: modificado a partir de León-Sicard (2014), p. 192.

Cada criterio se valora en una escala numérica entre 0 y 10, usando distintos indicadores que se miden o estiman mediante procedimientos que involucran imágenes de percepción remota, cálculos de longitudes o áreas y encuestas o entrevistas a los propietarios o encargados de las fincas.

Los distintos criterios se suman, de manera ponderada o no, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$EAP = CEEP + ECE + ECI + DCE + DCI + US + PMA, PMG + PRC + CON + CA \quad (1)$$

Ahora bien, si a juicio de cada grupo de investigación alguno de los criterios seleccionados debería pesar más que los demás, el equipo podría llegar a un consenso de ponderación y adscribir valores (en porcentaje) a cada uno de ellos, de tal manera que su valor final sea de 100% tal como se muestra en la Tabla 3 en la que se han asignado, a modo de ejemplo, valoraciones superiores a la conexión del agroecosistema mayor con el paisaje (CEEP), a los usos del suelo (US), a los criterios de percepción-conciencia-conocimiento (CON) y a la capacidad para la acción (CA).

Tabla 3. Ejemplo ficticio de una ponderación emitida por un panel de expertos sobre los criterios utilizados en la valoración de la conectividad del agroecosistema mayor con la EAP.

Factor de ponderación	Criterio asociado	Valor asignado (ejemplo)
β_1	CEEP	15%
β_2	ECE	5%
β_3	ECI	5%
β_4	DCE	10%
β_5	DCI	10%
β_6	US	15%
β_7	PMa, PMg	5%
β_8	PRC	5%
β_9	CON	15%
β_{10}	CA	15%
		Total 100%

En consecuencia, para el caso de una EAP ponderada, su ecuación se representaría de la manera siguiente:

$$EAP = \beta_1 CEEP + \beta_2 ECE + \beta_3 ECI + \beta_4 DCE + \beta_5 DCI + \beta_6 US + \beta_7 (PMa, PMg) + \beta_8 PRC + \beta_9 CON + \beta_{10} CA \quad (2)$$

La escala de interpretación del estado y grado de desarrollo de la EAP para cualquier agroecosistema mayor se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala de interpretación de la Estructura Agroecológica Principal (EAP).

Valor numérico	Interpretación
91 - 100	Completamente desarrollada
81 - 90	Muy fuertemente desarrollada
71 - 80	Fuertemente desarrollada

Valor numérico	Interpretación
61 - 70	Moderada a fuertemente desarrollada
51 - 60	Moderada
41 - 50	Moderada a ligeramente desarrollada
31 - 40	Ligeramente desarrollada
21 - 30	Débilmente desarrollada
11 - 20	Muy débilmente desarrollada
< 10	Sin estructura

Fuente: modificada a partir de León-Sicard, 2014.

A continuación se describe la importancia o, si se quiere, el fundamento teórico de cada uno de estos criterios y los procedimientos propuestos para su medición.

Criterio 1: conexión con la estructura ecológica principal del paisaje (CEEP)

Este parámetro aborda las relaciones del agroecosistema mayor con los elementos del paisaje que le rodea, especialmente con fragmentos de vegetación natural y cuerpos de agua, y se relaciona principalmente con los intercambios de organismos entre tales coberturas naturales, cuerpos de agua y cultivos. Los apartados siguientes sitúan la importancia del contexto en que se ubican las fincas, elemento que ha sido poco estudiado en los análisis espaciales de agroecosistemas.

Fundamento teórico: la finca y su entorno

Los agroecosistemas mayores pueden ser considerados como organismos en sí mismos, idea que fue propuesta y divulgada por la teoría de la biodinámica en el documento que reveló el pensamiento de Rudolf Steiner en 1924.

Esta consideración permite entender la unicidad del cuerpo de la finca, ya no solo en términos de sus propias relaciones internas de tipo ecosistémico sino de sus relaciones con el propietario y, más aún, con su entorno.

¿Pero qué significa el entorno de una finca? ¿Qué límites, ya sean ellos físicos o no, pueden considerarse adecuados para aprehender los movimientos materiales o los flujos energéticos que inciden en su evolución? ¿Cuáles son esos movimientos de materiales y esos flujos energéticos? ¿Qué límites pueden considerarse cuando se considera la finca en el contexto regional?

Empecemos por abordar la primera cuestión. El entorno de una finca puede significar muchas cosas: desde las coberturas vegetales y los cuerpos de agua que la rodean, hasta la fisiografía de los terrenos adyacentes y, por supuesto, la calidad de las relaciones con los vecinos de los alrededores inmediatos e incluso el ambiente general de seguridad y paz que viva la vereda, el cantón, la provincia, el municipio o como se denomine la división político-administrativa de cada país.

Algunas de estas variables pueden ser abordadas a partir de la medición clásica de fenómenos biofísicos, pero otras no. Estas últimas requieren abordajes cualitativos, acercamientos de tipo social o psicológico o elucubraciones políticas más o menos confiables, pero ello no quiere decir que no existan en absoluto.

En el caso de las variables biofísicas externas que intervienen en el devenir de una finca cualquiera, pueden anotarse fácilmente el tipo, el estado y manejo de las coberturas vegetales que la rodean, sean estos pastizales, otros cultivos, bosques en distintos grados de conservación, arbustales, matorrales, herbazales y cuerpos de agua.

Pero en el entorno inmediato de las fincas también aparecen los elementos geográficos, fisiográficos, geomorfológicos y edáficos que influyen en variables clave como el clima (velocidad y dirección de los vientos, precipitación temperatura, humedad relativa). Así por ejemplo, una cosa es que la finca se sitúe en la mitad de una pendiente larga en una posición fisiográfica de ladera y de cara a los vientos, y otra cosa diferente es que la finca se encuentre ubicada en un valle estrecho, rodeada de altas colinas o montañas y, en consecuencia, mayor protegida contra las fuerzas eólicas. Incluso, las diferencias se acentúan si ellas hacen parte de paisajes aluviales (terrazas, complejos de orillares), montañosos (vertientes, colinas, piedemontes) o altiplanicies.

Igual sucede con los suelos. Las fincas rodeadas de suelos inundables, por ejemplo, tendrán comportamientos disímiles y formas propias de manejo distintas a aquellas fincas rodeadas de suelos secos u originados en materiales que los provean de drenajes rápidos. Ello porque la utilización de tales tierras mal drenadas dominará los paisajes y las tendencias generales de uso a nivel regional, afectando muchos flujos de información, decisiones de política y la presencia o no de determinados mercados específicos. Uri (2014) indica que la erosión edáfica tiene impactos, tanto dentro como fuera de las fincas o granjas. La reducción de la profundidad del suelo puede afectar la productividad de la tierra y el transporte de sedimentos puede degradar arroyos, lagos y estuarios e incluso afectar la vida útil de grandes represas hidroeléctricas.

Un segundo grupo de variables de orden cultural, que también hacen parte del entorno de las fincas, son de más difícil valoración que la de los elementos biofísicos mencionados previamente (fisiografía, suelos), porque sus orígenes, causas, permanencia y efectos pertenecen generalmente al mundo

simbólico o al de la organización socioeconómica y política de las sociedades nacionales e incluso, internacionales.

Por su parte, una finca puede estar ubicada en una región caracterizada por altos índices de violencia ejercida por grupos de diversas tendencias políticas (guerrilla izquierdista, movimientos de ultraderecha), por grupos narcotraficantes o delincuencia común. Este será un entorno inseguro e inestable que influye directamente en la evolución de los agroecosistemas.

Pero también las fincas se pueden ubicar en zonas en donde, sin ningún conocimiento de los propietarios, alguna autoridad estatal decide que el uso prioritario de la región será el de la minería y, en este caso, el entorno comienza a ser desfavorable para las actividades agrarias en general. Aparecen entonces procesos de especulación sobre los precios de las tierras, cambios abruptos de propietarios, acaparamiento y, en el caso de concretarse las explotaciones mineras, se genera todo un sistema de economía extractivas en las que aparecen síntomas característicos como migraciones, violencia, enriquecimientos súbitos, contaminación de suelos y aguas, sobrepoblación, ruido y otros disturbios.

En casos menos extremos, los agroecosistemas mayores pueden estar rodeados de vecinos con diferentes maneras de habitar el mundo, es decir, con percepciones y posiciones diversas sobre el sentido de la vida, lo cual influye notablemente en el devenir de una finca cualquiera. En tal sentido, se reporta como ejemplo el caso de una finca en la Sabana de Bogotá (Colombia) dedicada por completo a procesos ecológicos que nunca pudo cerrar su perímetro con vegetación arbórea porque a los vecinos les impedía la vista del paisaje cercano y ellos temían que la cerca viva propuesta afectara su seguridad física (no podrían ver si se acercaban o no enemigos).

Para cerrar esta corta reflexión habría que anotar, adicionalmente, que los agroecosistemas mayores están sometidos a continuos flujos energéticos y a intercambios materiales que también inciden en su evolución.

El principal flujo energético, es por supuesto, el derivado de la fuente solar primaria que, en términos de su apropiación como biomasa o como fuerza propulsora de movimientos eólicos —e incluso como propia energía solar, eléctrica o hidráulica—, aparece en las fincas bajo distintas denominaciones y procesos. En este sentido cobra importancia la introducción de paneles solares, arietes, bombas hidráulicas, el uso de leña u otros sistemas ligados a la calefacción en las instalaciones de las fincas o en sus sistemas de riego, así como los procesos dirigidos a aumentar o reciclar su biomasa.

Ligado a este flujo principal y al movimiento de materiales, los agroecosistemas incorporan en su entorno y devenir distintas clases de elementos que incluyen en sí mismos balances y potenciales energéticos tanto en su fabricación como en su transporte y utilización. Ello se relaciona, entre otras cosas, con el uso de semillas, otros organismos y plantas introducidas con

varios fines, abonos, fertilizantes, equipos, materiales de riego, instrumentos de labranza y de recolección de cosechas (maquinaria agrícola en general).

Tales factores biofísicos de geomorfología, fisiografía o de suelos, así como aquellos otros de tipo cultural brevemente mencionados, y que comprenden lo que en su conjunto puede entenderse como el entorno de los agroecosistemas mayores o fincas, han venido siendo señalados por varios investigadores como elementos claves en el manejo de los agroecosistemas. Ello por cuanto existen relaciones de diversa índole entre lo que sucede al interior de las fincas con lo que ocurre en el paisaje exterior a ellas. Ningún agroecosistema mayor permanece o existe de manera aislada en su entorno y, por lo tanto, lo afecta y es afectado permanentemente por él.

Harvey *et al.* (2008) interpretan claramente esta nueva visión de la conservación biológica. Partiendo del cambio de paradigma planteado, Perfecto *et al.* (2009) señalaban que en Mesoamérica aproximadamente el 80% de la vegetación se había convertido en agricultura (las tasas de deforestación eran del 1,2%/año en Centroamérica y México juntos), amenazando más de 300 especies endémicas de flora y fauna, incluidas al menos 107 en peligro crítico.

Anotaban que los principales impulsores de estos procesos degradativos eran una combinación de la globalización de las fuerzas del mercado, la industrialización agrícola, la migración, las políticas públicas y los cambios culturales que transformaban agroecosistemas diversos, tradicionales y de pequeños productores, en sistemas agroindustriales dependientes de insumos químicos y mecanización, con sustanciales disminuciones de la cubierta arbórea, la vegetación en barbecho, la diversidad del hábitat y la conectividad forestal.

Para enfrentar estos fenómenos, los autores citados propusieron el manejo integrado del paisaje, en el cual las unidades de conservación y producción ubicadas dentro de la matriz agrícola se manejan conjuntamente para asegurar la sostenibilidad a largo plazo, reconociendo así que la forma en que se lleva a cabo la agricultura y cómo se distribuyen los diferentes usos de la tierra determinan espacial y temporalmente la biodiversidad de una región y viceversa.

En este sentido, Burchfield *et al.* (2019) indican que existe una creciente evidencia a escala de campo respecto a que la simplificación de los paisajes puede reducir la producción agrícola al erosionar los procesos del ecosistema de los que dependen los sistemas agrícolas; sin embargo, muchos de estos procesos surgen a partir de interacciones complejas entre el uso de la tierra, el contexto biofísico y la actividad humana a escala de paisaje. A partir de esas consideraciones iniciales, las autoras estimaron la relación entre la diversidad agrícola a escala de paisaje y los rendimientos de soja, maíz y trigo de invierno en los Estados Unidos, encontrando que los rendimientos de estos dos últimos cultivos aumentaban hasta en un 20% en sistemas agrícolas altamente diversificados.

En sus conclusiones afirman que: (i) la producción de cultivos responde más al número de tipos de cultivos distintos presentes en un paisaje que la extensión del cultivo y que, (ii) el aumento de la diversidad en sistemas agrícolas que ya son diversos produce las mayores ganancias en rendimiento. Sus modelos proporcionan pruebas sólidas a escala nacional y regional de que la diversificación agrícola, una intervención con beneficios conocidos del ecosistema, puede aumentar la producción de cultivos.

Por otra parte Ariga (1997), sin referirse a la composición intrínseca de los bosques ni a sus relaciones con los agroecosistemas en el paisaje, realizó un estudio con más de sesenta especies de usos diversos en el sudeste y suroeste de Kenia, hallando que sus partes se utilizan para alimentos, forraje, medicina, conservación de la fertilidad edáfica, sombrío, barreras rompevientos, bancos de germoplasma, fuentes de leña, hábitat de vida silvestre y extracción de diversas materias primas.

A su vez, Duelli *et al.* (1999) insisten en que las prácticas de preservación o mejoramiento, pero también la evaluación de la biodiversidad en áreas cultivadas, deberían enfocarse claramente en el nivel del paisaje, puesto que la biodiversidad orgánica es mayor en hábitats menos intensamente cultivados; así mismo señalan que, además del impacto de las sustancias biocidas comúnmente utilizadas en las zonas de producción agraria intensiva, la variación en la diversidad de especies por lo general depende de la biodiversidad de los alrededores (*paisaje en mosaico*). Los autores concluyen que la biodiversidad estructural en las áreas agrícolas parece correlacionar con aquella otra biodiversidad funcional y orgánica de la fauna de insectos sobre el suelo.

Un nivel adicional, poco explorado por los investigadores agrícolas pero de alta significación para los biólogos de la conservación, es la relación entre paisajes transformados por la agricultura y las dinámicas de aves con incidencia en los campos de cultivo. Al respecto Tschardtke *et al.* (2008) analizaron bases globales de datos para evaluar patrones de diversidad funcional de aves asociadas a actividades agrícolas en paisajes tropicales transformados. Su investigación mostró agroecosistemas forestales con cantidades significativamente mayores de especies frugívoras y nectarívoras, pero con menos especies de aves insectívoras en comparación con los bosques circundantes.

Del mismo modo, los organismos depredadores de aquellos insectos que se alimentan de plantas fueron más diversos en los bosques ecuatoriales en comparación con los presentes en cultivos de arroz y praderas en monocultivo, mientras que, en Indonesia, la diversidad de las abejas también fue mayor en los hábitats forestales. Por lo tanto, los autores demostraron que la diversidad de aves insectívoras y depredadores de insectos, así como las abejas polinizadoras, decrece con la transformación agrícola. Concluyen que la proximidad de los hábitats agrícolas a los bosques tiene una fuerte influencia en la diversidad funcional de los agroecosistemas (Tschardtke *et al.*, 2008).

A un nivel más regional, en Costa Rica, Florian *et al.* (2010) estudiaron las relaciones entre la complejidad estructural y las comunidades de aves en agroecosistemas cafeteros con distintos tipos de sombrero, calculando el porcentaje de cobertura de bosque alrededor de cada finca en distancias radiales de ½, 1 y 1½ kilómetros, para valorar los efectos del contexto de paisaje. Encontraron mayor riqueza, abundancia y diversidad de aves en aquellos cafetales estructuralmente más complejos debido a la presencia de especies maderables de dosel alto. Los bosques vecinos a los cafetales generan efectos positivos en aves especialistas, que son de alto valor para la conservación. Los autores concluyen que aumentar la complejidad estructural de los sistemas agroforestales, así como la cobertura de los bosques aledaños, facilita la conservación de la avifauna en paisajes transformados. A conclusiones similares, para aves residentes y migratorias, llegaron Martínez-Salinas y Declerck (2010).

En esta misma línea de investigaciones entre aves y agroecosistemas se inscribe el trabajo de Enríquez *et al.* (2009), quienes muestrearon la presencia, riqueza y abundancia de gremios de aves claves para la conservación en 12 fincas ganaderas del pacífico central de Costa Rica, encontrando que el gremio más abundante fue el de las insectívoras y concluyendo que para la conservación de estas especies, también resulta esencial mantener los relictos de bosques dentro de los agroecosistemas.

Relaciones y distancias de la finca con el paisaje

Por otra parte, y como se expondrá en páginas posteriores, las coberturas vegetales sí pueden valorarse de manera más o menos precisa apelando a parámetros biofísicos o métricas nacidas, precisamente, en la ecología del paisaje.

Y decimos que su valoración es más o menos precisa porque, aparte de poderse reconocer en el campo o en las imágenes de sensores remotos, el asunto de evaluar las coberturas vegetales como parte de los entornos de los agroecosistemas mayores se complica en más de un nivel. En primera instancia aparece la pregunta sobre la distancia mínima o máxima en la que una determinada cobertura puede influir negativa o positivamente en un agroecosistema vecino. Además, es necesario entender el papel que cada tipo de cobertura ejerce sobre determinados componentes del agroecosistema, especialmente en sus áreas productivas.

La mayor o menor distancia en la que se puedan detectar influencias ambientales significativas de coberturas vegetales que hacen parte del entorno de una finca en particular depende de muchos factores ecosistémicos y culturales. En el orden ecosistémico pueden mencionarse los tipos de cultivos, la presencia de flores, las posibilidades de refugio de enemigos naturales, la densidad de la cobertura, las especies vegetales involucradas, el tipo de herbívoro o de agente dañino que se desea controlar; igualmente depende de

las clases de fragmentos, manchas de bosques y de corredores, en términos de área, densidad y forma. En el orden cultural sobresalen los sistemas de manejo que lleven a cabo los propietarios vecinos, incluyendo la utilización o no de sustancias químicas para el control de especies consideradas dañinas en sus propios cultivos.

Las coberturas vegetales más heterogéneas o diversas, como los bosques o los herbazales y matorrales —especialmente aquellos en donde existen flores—, ofrecen diversidad de elementos de hábitat y de nichos para albergar distintos grupos animales con funciones diversas de polinización, control poblacional o intercambio de materiales (hormigas, por ejemplo, que transportan suelos o modifican sus condiciones evolutivas).

Por el contrario, coberturas menos diversas, relacionadas con monocultivos o con praderas de una sola especie, generarán menos oportunidades para albergar enemigos naturales y es muy probable que sus manejos incluyan plaguicidas que deriven con el viento hacia las fincas vecinas. Igualmente, pueden ser focos de infestación de patógenos y de agentes herbívoros nocivos.

De ahí que este primer acercamiento señala la necesidad de valorar las coberturas boscosas, matorrales, herbazales o parches de mayor diversidad, como factores benéficos para los agroecosistemas mayores. Al mismo tiempo indica que, por el contrario, las coberturas simplificadas (monocultivos, praderas de una sola especie) puedan ser consideradas como poco benéficas para el desarrollo interno de las fincas colindantes.

Muchos investigadores han estudiado las relaciones entre elementos de las fincas (setos o cercas vivas) con remanentes y parches de vegetación natural, indicando el papel que juegan en las funciones de hábitat para distintas especies de insectos polinizadores, aves, mamíferos pequeños y reptiles, así como en la regulación de condiciones microclimáticas relacionadas con la *bufferización* de temperaturas, la reducción de la velocidad del viento y de la evapotranspiración y, en general, de los balances hídricos y los factores adversos como las heladas (Forman y Baudry, 1984; Burel, 1996; Bennet, 2004).

Budowski y Russo (1993) señalan que las cercas vivas se usan ampliamente en Costa Rica y otros países de América Central como una práctica agrícola sostenible. Los autores compilaron el conocimiento empírico de los agricultores costarricenses, encontrando el uso de 92 especies de plantas como cercas vivas.

Por su parte, Bennet (2004) afirma que la evaporación disminuye en las áreas protegidas por barreras vivas, en proporciones de hasta 16 veces la altura de la barrera, mientras que la velocidad del viento se atenúa en distancias proporcionales a unas 28 veces la misma altura. De igual forma, y de acuerdo con dicho autor, estas barreras reducen la velocidad de los caudales superficiales y con ello disminuyen la erosión de suelos, infiltran el agua a capas profundas debido a la profundidad de las raíces de sus árboles, bombean

humedad desde la superficie del terreno hasta la atmósfera y sirven como refugio a invertebrados depredadores benéficos, como escarabajos y arañas (Thomas *et al.*, 1991 y Dennis *et al.*, 1994, citados por Bennett, 2004).

Igualmente, el efecto de las barreras vivas —por supuesto en función de su densidad y del tipo de plantas que las constituyan— ha sido reconocido desde hace muchos años en distintos componentes de los agroecosistemas. Por ejemplo, ya desde mediados del siglo pasado se habían demostrado los beneficios de distintas coberturas dispuestas en barreras como controladoras de la erosión y conservadoras de suelo. Al respecto Gutiérrez (1995) evaluó el efecto de *Vetiveria zizanioid* y *Pennisetum spp.* sobre la conservación de suelos en terrenos de ladera en Honduras y sobre los rendimientos de los cultivos, la incidencia de plagas y la factibilidad económica a corto y mediano plazo, encontrando reducciones significativas de pérdidas de suelo y mayores rendimientos en lugares que utilizaban barreras vivas.

Otros usos de la biodiversidad, relacionados con el mantenimiento de árboles en sistemas asociados a la agricultura o en sistemas agroforestales, han sido reconocidos como determinantes en relación con la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la seguridad alimentaria, los ingresos agrícolas, la restauración de suelos, los sumideros de CH₄, la biodiversidad del suelo, el mantenimiento de corredores entre bosques protegidos y los equilibrios hídricos a nivel de cuenca.

Varios son los estudios que se han ocupado de analizar el papel de la agrobiodiversidad en la reducción de concentraciones de CO₂. Uno de ellos, ejecutado por Hergoualc'h *et al.* (2012) estudió el balance neto de GEI comparando, durante tres años, dos cafetales vecinos: uno de tipo monocultivo y otro con sombrío de *Inga densiflora*. Los resultados mostraron que el carbono superficial en el monocultivo de café fue de 9,8 mg C / ha mientras que en el sistema agroforestal fue de 25 mg C / ha a los 7 años después del establecimiento, con una tasa de almacenamiento de carbono en la fitomasa de más del doble en el segundo. El balance neto de GEI en la escala de plantación, que incluía suelo y fitomasa, fue positivo y aproximadamente cuatro veces mayor en el sistema diverso que en la plantación. Los autores concluyen que la conversión del monocultivo a sistema agroforestal de café a la sombra con *Inga densiflora* podría incrementar la eliminación neta de GEI en la atmósfera en tasas variables de $10,76 \pm 2,96$ mg CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ durante el primer ciclo de 8–9 años.

Pandey (2002) afirma que los sistemas agroforestales contribuyen de manera más eficiente a la mitigación del cambio climático porque generan mayores beneficios sobre la seguridad alimentaria, la equidad en la posesión de la tierra, los ingresos agrícolas, la conservación de la diversidad de la fauna y flora del suelo, y la presión sobre los bosques naturales. Iguales reflexiones presentan Mbow *et al.* (2014).

Pero la biodiversidad que circunda las fincas no solo ha resultado de interés por su influencia en la protección de suelos o en la mitigación del cambio climático y de las fluctuaciones hídricas, sino que suscita preguntas e investigaciones alrededor de temas sensibles para el manejo de insectos herbívoros y la sustitución de insumos químicos en cuestiones de sanidad vegetal y animal, así como de productividad agropecuaria.

En este sentido Altieri y Nicholls (2007) señalan que la agrobiodiversidad del agroecosistema, su distancia a parches de vegetación natural, el tipo de cultivos (permanentes o transitorios) y los mismos sistemas de manejo (convencional o ecológico), son cuatro factores claves en su productividad, resiliencia y estabilidad. Estos autores enfatizan en que se necesita un cambio de enfoque hacia visiones de mayor espectro territorial para entender e influir en el comportamiento de los insectos herbívoros y de sus enemigos naturales en el paisaje agrícola.

Uno de los temas a los que tal vez se le ha puesto más atención en los últimos años es el que se refiere a la relación entre parches de bosques, setos diversificados con flores y actividad de polinizadores, debido quizás a las alarmas mundiales que han surgido al comprobarse la reducción o eliminación de muchos panales de abejas silvestres a consecuencia de la intensificación del uso de sustancias tóxicas en la agricultura (Sardiñas y Kremen, 2015; Connelly *et al.*, 2015).

Al respecto, Klein *et al.* (2003) analizaron en Sulawesi Central (Indonesia) la abundancia y composición de 15 especies de abejas que visitan las flores del café en 15 sistemas agroforestales que diferían en la distancia al bosque más cercano (importante para las especies que anidan en madera), en la intensidad de la luz (importante para las especies que anidan en el suelo), en la cobertura de flores del café y de otras plantas en el sistema y en la riqueza de especies de plantas con flores (con recursos de polen y néctar), para determinar los factores que incidían en el éxito de la polinización. Entre otras cosas, estos autores encontraron que el número de especies de abejas sociales se reducía con el aumento de la distancia al bosque, mientras que el número de especies de abejas solitarias se incrementaba con la intensidad de la luz (menos sombra) y mayores cantidades de flores. Una de las principales recomendaciones de estos investigadores es la necesidad de conservar los bosques naturales y los fragmentos de bosque cercanos de los sistemas agroforestales de café (<500 m) para que las abejas sociales que anidan en ellos puedan viajar fácilmente a los cafetales para polinizar las flores.

A conclusiones similares llegaron Cepeda-Valencia *et al.* (2014) al cruzar variables dependientes de la EAP con el comportamiento de abejas sociales en Nocaima (Cundinamarca, Colombia). Las autoras colocaron parcelas dentro de distintos sistemas de producción (que en este caso se asimilaron a agroecosistemas menores) y, en cada una de ellas, midieron la riqueza, densidad, altura

promedio, diámetro a la altura del pecho y número, tanto de árboles como de plantas de café, entre otros parámetros. Además, evaluaron mediante indicadores el uso de agroquímicos, su frecuencia de aplicación y otras variables culturales de los sistemas. Como variable de paisaje midieron la distancia de los cafetales al bosque más cercano. Esta información se complementó con un juicioso estudio de colección de abejas (en períodos definidos previamente), extracción e identificación de polen de contacto.

Como resultados destacables de este estudio, se puede señalar que las autoras reconocieron a las especies *Apis mellifera* y *Paratrigona eutaeniata* como las que visitan con mayor frecuencia los cafetales. También encontraron una dependencia positiva de la riqueza vegetal ($p=0,031$; $R^2=0,96$) con la riqueza de abejas y una dependencia negativa de éstas con la distancia al bosque ($p=0,0075$; $R^2=0,52$) y la densidad de café ($p=0,045$; $R^2=0,67$). Además, concluyeron que “las abejas visitan diferentes estratos vegetales en su búsqueda de recursos y que los cambios en la EAP afectan su composición y riqueza, por lo que mantener esta diversidad, implica conservar la diversidad del arreglo y de los ecosistemas cercanos” (Cepeda-Valencia *et al.*, 2014).

La función de los polinizadores —que solo en términos de abejas alcanzan en Uganda más de 650 especies según Munyuli, 2011—, se reconoce como un invaluable servicio ecosistémico que puede representar para dicho país un valor económico total de us \$1,16 mil millones en producción de cultivos. No obstante, requiere el mantenimiento de altas proporciones de mosaicos de paisajes agrícolas biodiversos mezclados con coberturas arbóreas densas. Por su parte, Nicholls y Altieri (2013) sostienen que el 35% de la producción mundial de alimentos de origen agrícola, incluidas al menos 800 plantas cultivadas, depende de la polinización animal. Después de una intensa revisión de literatura, los autores concluyen que es necesario mantener ciertos niveles de plantas adventicias dentro de los campos de cultivo para garantizar la presencia de poblaciones viables de polinizadores; además, que es de vital importancia establecer cercas vivas, líneas de flores y vallas diversificadas en estos bordes o límites, al igual que el manejo apropiado de las áreas no cultivadas (bosques, herbazales, arbustales) para alentar a los polinizadores silvestres que tendrán efectos positivos en el rendimiento de los cultivos.

En este sentido, Garibaldi *et al.* (2011) abordaron el efecto del aislamiento de áreas naturales y seminaturales sobre la estabilidad espacial y temporal de la riqueza de visitantes de flores en campos de cultivo, a partir de la revisión de 29 estudios con biomas contrastantes, especies de cultivos y comunidades de polinizadores. Encontraron que la estabilidad de la riqueza de tales visitantes de flores, su tasa de visitas (todos los insectos, excepto las abejas melíferas) y el conjunto de frutas, decrecen con la distancia de los cultivos a las áreas naturales. Los datos que proporcionan estos autores indican que a 1 km de las áreas naturales adyacentes la estabilidad espacial puede disminuir

alrededor de 25, 16 y 9% para la riqueza de visitantes, las visitas y la producción de frutos, respectivamente, mientras que la estabilidad temporal se reduce en un 39% para la riqueza y en 13% para las visitas. La riqueza media, las visitas y la producción de fruta también decrecen con el aislamiento en 34, 27 y 16% a 1 km, respectivamente. En contraste, las visitas de las abejas melíferas no se modifican con el aislamiento y representan más del 25% de las visitas a cultivos en 21 de los 29 estudios analizados. Afirman adicionalmente que los polinizadores silvestres son relevantes para la productividad y estabilidad de los cultivos, aún cuando las abejas sean abundantes.

El uso de hileras de flores y sus interacciones con los paisajes circundantes también ha sido estudiado por diversos investigadores. Por ejemplo, Jönsson *et al.* (2015) investigaron los efectos locales y paisajísticos de franjas de flores sobre la abundancia de polinizadores en 18 paisajes del sur de Suecia, hallando que una mayor calidad y/o un área total mayor de franjas de flores dentro de una granja, constituían elementos claves, tanto para los abejorros, como para las abejas solitarias. Sus resultados mostraron que las franjas de flores no solo atraen polinizadores localmente sino que, además, pueden incrementar la abundancia de polinizadores en paisajes enteros, particularmente en aquellos dominados por tierras de cultivo.

Resultados semejantes obtuvieron Cusser *et al.* (2016) cuando estudiaron, entre otros aspectos, los efectos del uso de la tierra en la composición de la comunidad de polinizadores y en el servicio de polinización en 12 paisajes agrícolas diferentes dedicados al cultivo de algodón en el sur de Texas; encontraron que la composición de la comunidad de polinizadores estaba estrechamente relacionada con la abundancia de áreas naturales (radio de 250 m) que influyen los cultivos. Concluyeron que aquellos paisajes de algodón que mantienen áreas naturales, promueven la abundancia y diversidad de polinizadores silvestres con el efecto de mayores rendimientos.

También Liere *et al.* (2017) indican que, tanto las poblaciones, como la biodiversidad de los polinizadores y enemigos naturales decrecen con el incremento de la intensificación agrícola, y que la composición y configuración de las matrices del paisaje pueden modificar tales resultados localmente. Afirman también que el manejo agrícola afecta los servicios de depredación y polinización al transformar el suministro de recursos para enemigos naturales y polinizadores, su reserva de especies y sus interacciones, las cuales dependen de grupos taxonómicos o funcionales y del contexto del paisaje.

En esta línea de trabajo, Donkersley (2019) realizó simulaciones computarizadas de la estructura del paisaje través de categorías diferentes (árboles, setos, franjas florales) y analizó sus efectos sobre la capacidad de buscar alimento por parte de varios tipos de polinizadores. Afirma que las abejas melíferas tienen una preferencia detectable por buscar alimento en los árboles, incluso cuando están dispersas, y que los hábitats leñosos proporcionan

recursos más eficientes para los polinizadores debido a la densidad absoluta de recursos y a lo óptimo que resultan como paisajes de alimentación.

A conclusiones similares llegaron Martins *et al.* (2015) quienes estudiaron servicios de polinización y diversidad funcional de abejas en 20 huertos de manzanas en el sur de Quebec (Canadá), pudiendo establecer correlaciones entre la diversidad de abejas y los servicios de polinización con la composición del paisaje y la configuración de los hábitats naturales (bosques) y seminaturales (praderas) circundantes. Entre sus hallazgos más importantes señalan que la *diversidad funcional* de las abejas se asocia positivamente con praderas y bosques adyacentes, coberturas que se complementan en su provisión estacional de recursos de alimentación para estos polinizadores. Estas observaciones han sido respaldadas por muchos otros estudios que encuentran relaciones entre la configuración de los paisajes agrícolas (coberturas dentro y alrededor de las fincas) con la presencia, abundancia y servicios ecosistémicos de distintos polinizadores (Nicholson *et al.*, 2017; Bukovinszky *et al.*, 2017).

Aunque en muchos medios académicos y productivos todavía subsiste la creencia, fuertemente arraigada en términos del paradigma dominante del monocultivo —respaldado, evidentemente, en los “éxitos”⁵ de control que conlleva el uso intensivo de plaguicidas—, que el incremento de biodiversidad impide las acciones de control químico de plagas y enfermedades lo cierto es que el uso y conservación de coberturas vegetales diversificadas alrededor de las fincas en muchas ocasiones ha resultado benéfico para los mismos objetivos de producción y conservación. En tal sentido, Trujillo (1999) indica que la aparición de las plagas *Antestia sp.* en café y del picudo del algodón *Heliothis virescens*, fueron relacionadas por varios investigadores con la supresión de vegetación natural que les suministraba refugio y alimento a sus enemigos naturales. En el trabajo que esta investigadora realizó en cultivos de flores de la Sabana de Bogotá (Colombia), se reportó la presencia de 1.441 especies de insectos en las cercas vivas que rodean a tales cultivos, con sólo seis herbívoros potencialmente dañinos para los cultivos, pero igualmente con la presencia de por lo menos una especie de depredador o parasitoide en la cerca por cada especie considerada como plaga. La misma autora concluye que la presencia de plagas puede deberse a la eliminación física de la vegetación diversa circundante, la cual ofrece condiciones ideales de vida a insectos benéficos controladores de las plagas. Tales condiciones incluyen la

⁵ La palabra éxito se coloca entre comillas porque, si bien es cierto que los plaguicidas aseguran la eliminación física de insectos herbívoros considerados plaga en ese modelo productivo de monocultivo/agentes patógenos, y con ello asegura altos niveles productivos, el mismo modelo no considera ni internaliza los efectos deletéreos a corto, mediano y largo plazo que tales sustancias provocan en varios compartimentos ecosistémicos (suelos, aguas, biodiversidad) ni en los seres humanos (toxicidades, dependencias económicas, polarización social).

oferta de variadas posibilidades de hábitat, recursos y procesos ecológicos importantes, tanto para la estabilidad y la productividad del agroecosistema, como para las matrices de agroecosistemas que conforman redes territoriales, veredales o regionales (Trujillo, 1999).

Un trabajo adicional que puede citarse es el de Pardon *et al.* (2019), quienes estudiaron la abundancia y diversidad de cochinillas (Isopoda), milpiés (Diplopoda), escarabajos roperos (Coleoptera: Staphylinidae) y carábidos (Coleoptera: Carabidae) en función de la distancia a barreras vivas constituidas principalmente por hileras de árboles dentro de un conjunto de cultivos, en sistemas agroforestales localizados en zonas templadas. Encontraron niveles significativamente superiores en los indicadores de abundancia y diversidad para los milpiés en las hileras de árboles que en la zona cultivable, además de mayor abundancia de detritívoros en la zona cultivable cercana a los árboles maduros, al igual que un aumento limitado en la diversidad de carábidos en la zona cultivable cerca de las hileras de árboles. Los autores concluyen que, en los sistemas agroforestales de las zonas templadas, los árboles y franjas de vegetación contribuyen a la preservación de la biodiversidad de artrópodos y al incremento en sus servicios ecosistémicos.

Por supuesto que todavía, y por mucho tiempo más, subsistirán las preguntas sobre las distancias requeridas para diversos organismos entre las vallas o cercos perimetrales de las fincas y los fragmentos de vegetación natural o sobre los porcentajes y tipos de vegetación circundante a los agroecosistemas mayores. Establecer tales distancias ideales parece ser un reto mayor que enfrenta la agroecología, porque tal longitud depende de numerosas variables como son los cultivos, los climas, los relieves, las especies-objetivo que se busque promover o conservar, o las funciones ecosistémicas que quieran ser privilegiadas.

Es posible que la respuesta no se encuentre en buscar una distancia determinada de tipo universal —con la que se satisfagan todos los requisitos de control de plagas y enfermedades o de preservación de servicios y funciones ecosistémicas—, sino en aceptar que a cada agroecosistema le corresponderá buscar la mejor solución posible, partiendo del supuesto teórico que a mayor diversidad corresponderán mejores condiciones de estabilidad, productividad, resiliencia y manejo del agroecosistema en cuestión.

Igualmente, se deberá aceptar que tales condiciones de mayor biodiversidad dependen, en gran manera, del grado de conciencia ambiental que se tenga en los territorios o regiones, variable que se relaciona necesariamente con la actitud de los vecinos, las posiciones ideológicas de las instituciones de ciencia y tecnología, las demandas de los mercados de justicia ambiental o climática, la educación general de la población, el acompañamiento de la asistencia técnica y la orientación de las políticas públicas, elementos que por lo general están fuera del control del propietario del agroecosistema mayor.

Pero también habrá que preguntarse cuándo y bajo qué condiciones las coberturas vegetales *per se* pueden o no ejercer controles absolutos sobre las plagas de determinados cultivos. Esta pregunta se la hicieron Tscharrntke *et al.* (2016) a propósito de debate planteado entre algunos ambientalistas y agroecólogos, quienes defienden la idea del valor de las coberturas en términos de servicios ecosistémicos diversos (entre ellos los controles de plagas), y algunos agricultores que consideran la presencia de tales coberturas, ya sea como desperdicios de los potenciales productivos de sus fincas, o como estorbos al momento de realizar controles de insectos dañinos. Los autores citados, basándose en casos de la literatura, exponen cinco situaciones generales por las cuales el hábitat natural no puede apoyar el control biológico de plagas, lo cual ocurre cuando:

- Las poblaciones de plagas no tienen enemigos naturales efectivos en la región.
- El hábitat natural es una mayor fuente de plagas que los enemigos naturales.
- Los cultivos proporcionan más recursos para los enemigos naturales que el hábitat natural.
- El hábitat natural es insuficiente en cantidad, proximidad, composición o configuración para proporcionar poblaciones enemigas lo suficientemente grandes y necesarias para el control de plagas.
- Las prácticas agrícolas contrarrestan el establecimiento de los enemigos naturales y el biocontrol proporcionado por el hábitat natural.

El trabajo de Tscharrntke *et al.* (2016) es relevante en la medida en que señala que aún faltan muchos estudios de agroecología, ecología del paisaje, biología de la conservación o de restauración ecológica, que muestren —para tipos específicos de cultivos en distintos arreglos de mono o policultivos—, la influencia de determinadas coberturas —incluyendo su estructura, distancia, tiempo de renovación, fenología— sobre la presencia o ausencia y el comportamiento de las plagas—objetivo y de sus enemigos naturales cuyos procesos pasan, necesariamente, por los diversos tipos de manejo que se implementen en los agroecosistemas. Estos aspectos también son reseñados por Landis (2017) quien propone afrontar la pérdida de servicios de los ecosistemas, derivada de la simplificación del paisaje, mediante esfuerzos concertados para rediseñar fundamentalmente los paisajes agrícolas utilizando equipos de científicos y actores locales interesados.

Si bien el tema es complejo, abre las puertas a una serie de interesantes investigaciones futuras que proporcionen la información más aproximada posible a los agricultores sobre estas variables orientadas al diseño de agroecosistemas resilientes, productivos, estables y capaces de suministrar los servicios ambientales que reclaman las sociedades contemporáneas. La EAP, por supuesto, se inscribe en esta dirección.

Algunos retos futuros

Con la intención de despertar la inquietud de los lectores de estas páginas, se propone que la agroecología incluya, como reto de investigación para los años venideros, el estudio de las relaciones que surgen entre distintos tipos de agroecosistemas alojados en diferentes matrices del paisaje. No se trataría entonces de estudiar solamente las relaciones con las distintas coberturas vegetales ubicadas alrededor de las fincas, sino de ir más allá a fin de comprender las relaciones de estos agroecosistemas con los distintos tipos de elementos culturales que los rodean.

En el ejemplo ficticio que se ilustra en la Figura 8 se muestra un agroecosistema mayor analizado solamente desde el punto de vista de sus relaciones con coberturas boscosas, sin incluir ningún análisis en relación con otras coberturas como herbazales, matorrales y arbustales que, como ya se enunció, pueden contener elementos de refugio, hábitat, protección y alimento superiores a los que se encuentran en los bosques para sostener relaciones ecológicas útiles en términos de agroecosistemas.

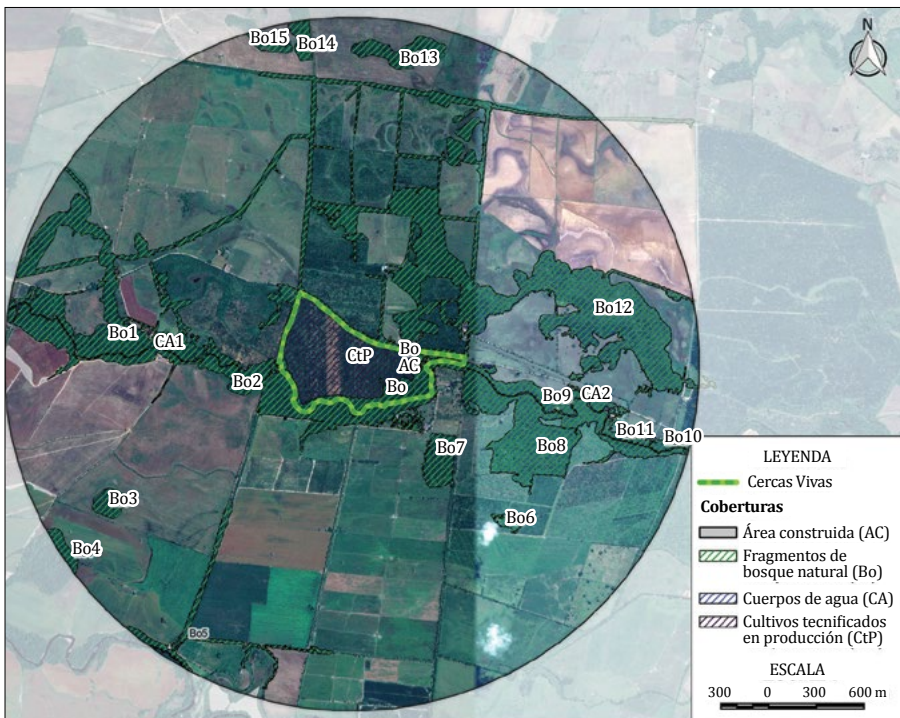


Figura 8. Conectividad de la finca Agrícola El Naranjal (Orinoquia colombiana) con la Estructura Ecológica Principal del paisaje (CEEP). (Fuente: tomado de Cleves-Leguízamo, 2018; reelaborado por César Nicolás Martelo).

Pero qué pasaría si, además de tales estudios netamente ecosistémicos, ¿la agroecología adiciona otros elementos culturales? ¿Qué pasaría si, como lo sugiere la Figura 9, en el análisis se incluyen las fincas vecinas con todo el peso cultural que las distingue?

Obsérvese que en el ejemplo ficticio ofrecido en la Figura 9 aparece la misma finca, pero ahora se visibilizan en el paisaje los límites que la separan de un conjunto de fincas vecinas con diferentes tamaños y cuyos propietarios difieren notablemente en sus posiciones teóricas, filosóficas y prácticas con relación al manejo de sus propios agroecosistemas.

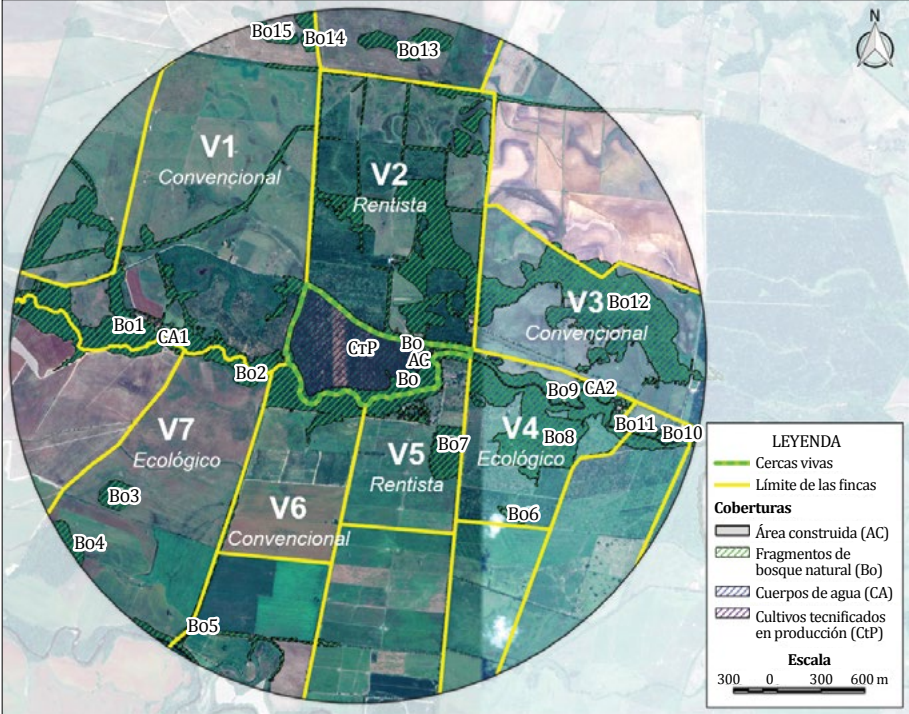


Figura 9. Ejemplo ficticio de un paisaje que muestra a la finca Agrícola El Naranjal (Orinoquia colombiana) rodeada de varias fincas vecinas, de tamaño mediano y distinta orientación, las cuales transforman la lectura y análisis del paisaje en términos agroecológicos. (Fuente: reelaborado por César Nicolás Martelo).

En efecto, la Figura 9 sugiere que la finca Agrícola El Naranjal estaría rodeada de tres fincas medianas con vecinos que utilizan métodos y prácticas de agricultura convencional (monocultivos, plaguicidas) y que se disponen, en un futuro cercano, a ampliar sus áreas de cultivo y, por lo tanto, a eliminar las coberturas vegetales de sus predios. Al mismo tiempo, al norte y al sur de la finca Agrícola El Naranjal, los propietarios de dos haciendas vecinas son rentistas

que habitan en sedes urbanas, que no permanecen en la zona y sus prolongadas ausencias no les permite a los administradores dirimir sus posturas frente a la conservación de las cercas y bosques que poseen en los límites de la finca estudiada. Las dos fincas adicionales de la zona, en las cuales se implementan prácticas y métodos agroecológicos, tienen solamente pequeños espacios limítrofes con la finca Agrícola El Naranjal y, en consecuencia, son pocas las interacciones positivas que pueden derivarse de ese escaso contacto.

¿Y si este no fuera el caso que caracteriza el vecindario de la finca en análisis, sino que El Naranjal estuviera rodeada de menos vecinos y ellos tuvieran distintas aproximaciones sobre el manejo de sus fincas, tal como se ilustra en la Figura 10?

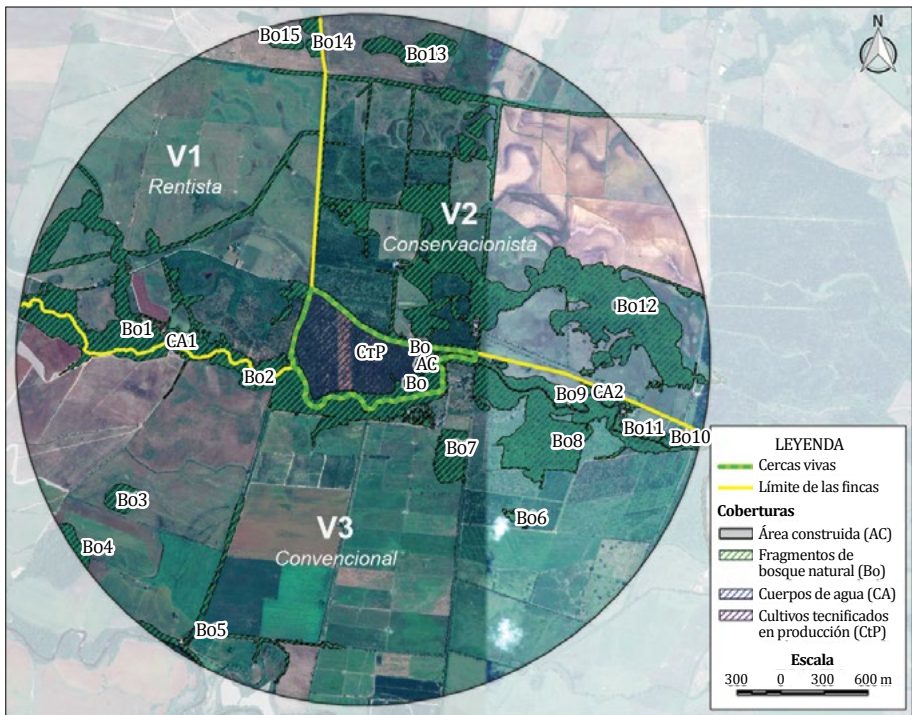


Figura 10. Ejemplo ficticio de un paisaje que muestra a la finca Agrícola El Naranjal (Orinoquia colombiana) rodeada solamente por tres grandes fincas vecinas (latifundios) de distinta orientación. (Fuente: elaboración de César Nicolás Martelo).

En este caso la situación cambia por completo. El propietario de nuestra finca Agrícola El Naranjal podría intentar acercamientos con el dueño conservacionista de la finca ubicada al norte de su predio y con mayor probabilidad lograrían acuerdos rápidos y favorables al manejo agroecológico de sus predios. Tendría ya no tres sino un solo propietario para negociar una

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas

reconversión de agricultura convencional a ecológica, siendo posible que no se facilite la comunicación con el propietario ausentista y rentista que se ubica en el costado izquierdo de su finca.

Por supuesto que, en este juego de posibilidades ficticias, podrían ocurrir múltiples situaciones de resistencia, indiferencia, negación o aceptación de las peticiones de manejo del dueño de la finca Agrícola El Naranjal, inherentes a la complejidad cultural de cada zona. Lo que se destaca aquí es el valor de incluir los mapas prediales y las relaciones de vecindad en los análisis del paisaje, porque tales relaciones tienen efectos indudables sobre los procesos de conectividad de las fincas con sus paisajes inmediatos y, por supuesto, en la efectividad de las prácticas que tales fincas intentan realizar en sus propios dominios.

Pero también es cierto que existen otros elementos todavía no considerados en nuestros análisis. Por ejemplo: las fincas pueden estar atravesadas o situarse muy próximas a autopistas, carreteras principales o áreas pobladas (Figura 11) que interfieren en los movimientos humanos y de especies animales con influencia en los agroecosistemas mayores.

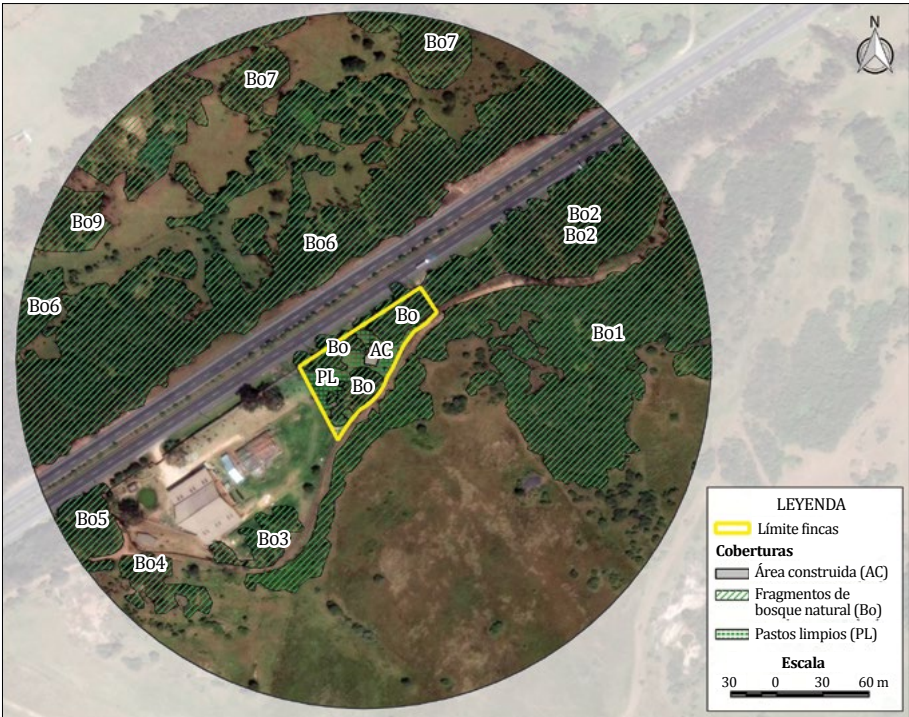


Figura 11. Ejemplo de una finca ubicada al borde de una carretera principal, la cual ejerce sobre ella diversos efectos ecosistémicos y culturales. (Fuente: elaboración de César Nicolás Martelo).

En el ejemplo ficticio de la Figura 11 se ve un agroecosistema que colinda con una autopista principal cuyo funcionamiento puede verse alterado porque la carretera actúa como una barrera de naturaleza física (si solo se considera su impacto en términos de su material de construcción o del paso repetitivo de vehículos automotores), química (si se consideran los gases expelidos por tales vehículos) o acústica (generada por el ruido intermitente del paso de automóviles). Pero, igualmente, la autopista es un excelente medio de transporte para toda clase de mercancías, materiales y personas, lo que incide fuertemente en la comercialización de los productos originados en la finca. Así, la cercanía o lejanía relativas de los agroecosistemas mayores a vías importantes de comunicación debe ser un factor a tener en cuenta en los posteriores estudios que se desarrollen sobre las dinámicas ambientales de los agroecosistemas.

La historia, los avances y los retos en la búsqueda de medir la conexión de las fincas con el paisaje

No obstante, a pesar de la complejidad enunciada, y con el objetivo de presentar soluciones que hicieran evidentes las necesarias conexiones finca-paisaje, el autor propuso en 1994 medir los porcentajes de conexión de los agroecosistemas con la Estructura Ecológica Principal del paisaje y a partir de allí otorgar un valor a cada nivel de conectividad (León-Sicard, 2014).

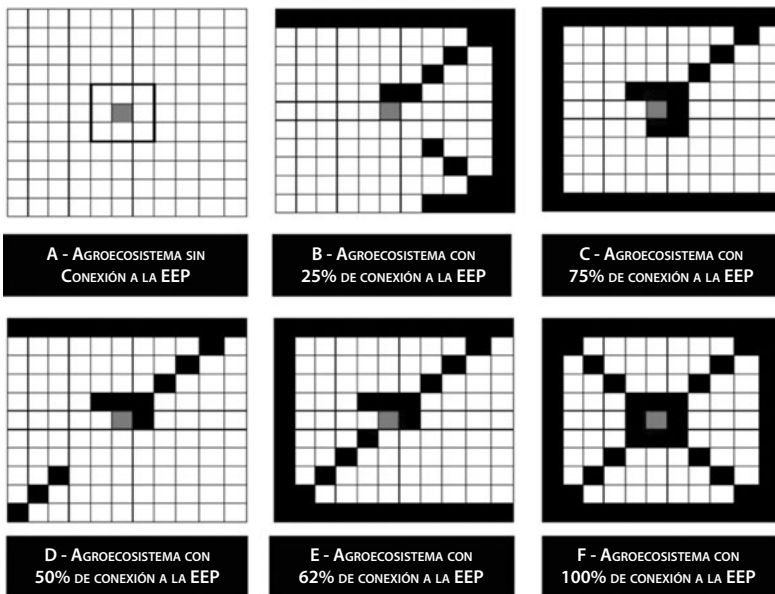


Figura 12. Diferentes porcentajes de conectividad entre el agroecosistema mayor o finca (cuadro gris), otras fincas (cuadros blancos) y fragmentos de vegetación natural (cuadros negros). (Fuente: tomado de León-Sicard, 2014, p. 175).

La situación hipotética planteada en ese momento, indicaba que se podrían medir las superficies limítrofes de las fincas que estuvieran en un *continuum* con distintas coberturas en el paisaje (parches, corredores o remanentes de bosques, ejemplificados con cuadros de color negro). En tal sentido, la Figura 12 esquematiza un agroecosistema mayor (cuadrado rojo que representaba una finca cualquiera) bajo diferentes condiciones de conectividad en un paisaje rodeado de fincas convencionales (cuadros blancos) y parches de vegetación natural (cuadros negros). Así, en un determinado momento la finca no posee ningún tipo de conectividad con coberturas diversas y adyacentes (situación A), pero en las demás situaciones hipotéticas mostradas por el autor (B a F), la finca aparece conectada en distintos porcentajes (25%, 50%, 62%, 75% y 100%) con coberturas boscosas, representadas en color negro.

El autor explicaba en su momento que era necesario considerar, no solamente la conexión *per se*, sino el tipo de cobertura al cual se estaba conectando el agroecosistema. En efecto, no es lo mismo si la cobertura alrededor de la finca es un bosque homogéneo de eucaliptos o de pinos, o si se trata de un bosque nativo de mayor biodiversidad o ciertos tipos de coberturas (matorrales, arbustales, herbazales) con distintas clases de plantas con flores y posibilidades alimenticias variadas.

A partir de estos antecedentes, el equipo de trabajo que ideó la EAP consideró necesario introducir otros tipos de acercamiento, más allá de la mera expresión numérica de la conectividad. Se reconoció la necesidad de incorporar en el análisis a los cuerpos de agua y de apelar a las mediciones de distancias ya propuestas por otras disciplinas. En ese sentido, para el estudio de la conectividad de los agroecosistemas mayores Martínez (2014) propuso utilizar una serie de métricas tomadas de la ecología del paisaje, a partir de una zona arbitraria de influencia expresada en un círculo con centro en la misma finca y de radio igual a un kilómetro. Dentro de estas métricas, el autor incluyó indicadores de área, forma de los fragmentos y distancia de los parches de vegetación natural a las fincas, agregadas en un índice que representaba la conexión de los agroecosistemas al paisaje.

La discusión que generó esta propuesta se centró en las razones por las que se había elegido la distancia de un kilómetro para extender un radio alrededor del cual se identificaran y valoraran tales fragmentos de vegetación o cuerpos de agua. ¿Por qué un kilómetro y no dos o tres o 10? ¿Qué pasaría entonces con fincas de mayor tamaño en las cuales ese kilómetro quedaría subsumido en ellas? ¿O qué representaría un kilómetro de más en una finca grande, de cien o más hectáreas?

Todas estas cuestiones indicaban la necesidad de reformular esta distancia para encontrar otra que pudiera satisfacer el requerimiento de valoración de la mayor cantidad de efectos que inciden en los agroecosistemas mayores. La pregunta obvia es ¿existe una distancia óptima para satisfacer

todas las exigencias en todos los casos y condiciones en que se desarrollan las fincas de índole diversa?

Una tal distancia universal óptima, que recoja las diferentes posibilidades de movilidad de distintas especies animales y vegetales y su influencia sobre los agroecosistemas mayores, parece no existir. Ello porque, si se trata de especies de insectos, es posible que su radio de acción o movimiento entre coberturas o cuerpos de agua no supere los cientos de metros, pero si se trata de valorar los efectos sobre especies de aves, puede que se hable de decenas o cientos de kilómetros y si se trata de anfibios o reptiles las distancias pueden estimarse en muy pocas decenas o centenas de metros. Esta extensa variabilidad fue la que llevó a proponer, no una distancia determinada, sino una proporción determinada. Esta solución parece más razonable por cuanto se eliminan las distancias absolutas y aparece, en el análisis y en el cálculo, una distancia relativa al mismo cuerpo del agroecosistema mayor, lo que reduce la incertidumbre creada por la elección de distancias absolutas. Aunque persista el asunto de establecer determinadas distancias sobre coberturas específicas, la aproximación relativa implica que la finca —y no las coberturas en sí mismas— es el objeto de análisis y de todas las influencias externas que reciba.

Por otra parte, la discusión también lleva a cuestionar la razón por la cual se decidió utilizar un círculo proporcional al tamaño de cada agroecosistema mayor considerado, y si no es mejor utilizar un cuadrado o los límites fisiográficos de cualquier accidente o característica del terreno que favorezca una delimitación específica. En efecto, la selección del círculo como elemento de referencia es arbitraria. En cualquier instante, cualquier investigador puede cambiarlo hacia un cuadrado o figura que mejor se ajuste a las condiciones específicas de su investigación, aportando las razones suficientes para ese cambio.

Lo importante verdaderamente es que se realice el ejercicio de comparación o de relacionamiento de las fincas con sus entornos ecosistémicos inmediatos, en estos casos, mediados por las coberturas vegetales y los cuerpos de agua. Ello, tomando como referencia cualquier figura geométrica que favorezca los cálculos de área, densidad, extensión o forma de los parches de las coberturas que rodean las fincas.

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir el criterio 1: Conectividad del agroecosistema mayor con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (CEEP)

Luego de los debates y aproximaciones generadas al interior del grupo de trabajo, se decidió entonces no referirse solamente a las coberturas boscosas como los mayores referentes, sino que, en su lugar, se pueden estudiar las relaciones de los agroecosistemas mayores con todo tipo de aquellas coberturas que garanticen mayor diversidad y abundancia de recursos bióticos, aprovechables en diferentes formas y escalas. Por eso se aceptó cambiar el

término “bosque” o “cobertura boscosa”, por el de “cobertura vegetal”, el cual incluye otros tipos de expresiones de la vegetación como herbazales, matorrales, arbustales y bosques secundarios o en crecimiento. De igual manera, se dio cabida a los cuerpos de agua, dada su innegable importancia en el mantenimiento y conservación de la vida en todos sus niveles.

En esta misma línea de pensamiento, y en concordancia con las ideas expuestas anteriormente, se decidió establecer una medida relativa de distancias de los fragmentos de vegetación y de los cuerpos de agua que resultara proporcional a cualquier tamaño de finca, como se explicará adelante. Esto debido a la dificultad inherente para fijar distancias únicas de estos fragmentos y cuerpos de agua.

De esta manera, se propone el siguiente procedimiento general que implica el uso de tres indicadores: Distancia de los fragmentos de vegetación al centro de la finca (DFC), Distancia de los cuerpos de agua al centro de la finca (DAC) y Densidad de fragmentos y cuerpos de agua (D):

Selección de las imágenes de percepción remota

El primer paso es seleccionar las imágenes de percepción remota que permitan ubicar la finca con sus coordenadas geográficas y con las mejores resoluciones posibles. De esta manera, se pueden utilizar fotografías aéreas, imágenes de satélites o la tecnología de fotografía desde vuelos aéreos no tripulados (drones).

La selección depende de la disponibilidad de tales imágenes y de los presupuestos específicos de cada proyecto. En ocasiones basta con apelar a las imágenes públicas de Google Earth Pro® que suministran información adecuada a escalas pequeñas. Cuando ello no es posible, porque la imagen no está disponible, su calidad es baja o la finca aparece en la imagen cubierta por nubes, siempre se podrá apelar a los bancos de fotografías aéreas que se encuentran en las instituciones de investigación geográfica de cada zona en particular. En Colombia, la principal fuente de estas imágenes es el Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, pero existen otras instituciones que poseen fotografías aéreas de buena calidad en otras regiones del país.

Cuando nada de ello es posible se pueden utilizar imágenes capturadas con drones, aunque este procedimiento está cargado de restricciones civiles y normas que regulan su utilización en determinados espacios, además de exigencias de licencias para pilotos expertos o registrados. Los drones presentan la desventaja de restricciones a su uso en áreas montañosas de acceso difícil, en especial cuando se trata de trabajar en fincas grandes con extensión superior a 20 o 30 hectáreas.

Definición del área de influencia del paisaje sobre la finca

Como ya se mencionó, la determinación del área de influencia del paisaje en cada agroecosistema depende de situaciones particulares. Para simplificar un tanto esta exigencia, proponemos definir o dibujar un círculo cuyo radio mida el doble del lado más largo de la finca (que en muchos casos es una bisectriz interna). Ello permitiría, para todos los casos, tener una extensión de tierra proporcional al área de cada finca, lo cual acentuaría la importancia y la centralidad del agroecosistema mayor en sus relaciones con el paisaje (Figura 13). Al área así calculada, se le resta la propia superficie de la finca, de acuerdo con las ecuaciones siguientes⁶.

$$r = 2L \quad (3)$$

$$AI = \pi r^2 - AF \quad (4)$$

Donde,

L = La medida del lado más largo (bisectriz) de la finca

r = Radio del área de influencia, medido desde el centro de la finca

AI = Área de influencia

AF = Área de la finca.

El establecimiento de los tipos y áreas de vegetación

El paso siguiente es delimitar mediante procesos de fotointerpretación —y apoyándose en los patrones que se observan en las imágenes de sensores remotos—, los distintos tipos de cobertura (haciendo énfasis en fragmentos de bosques, arbustales y herbazales) y cuerpos de agua que se encuentran por fuera de la finca pero dentro del círculo de influencia.

Medición de los indicadores

Una vez identificados y delimitados en las imágenes los diferentes tipos de cobertura, se procede a calcular los tres índices: (i) Distancia de los fragmentos de vegetación al centro de la finca (DFC), Distancia de los cuerpos de agua al centro de la finca (DAC) y Densidad de fragmentos y cuerpos de agua (D).

⁶ Las ecuaciones que se incluyen en este libro solo tienen el propósito de guiar a quienes decidan utilizar el índice propuesto. Quienes no gusten de este tipo de expresiones, pueden prescindir de ellas.

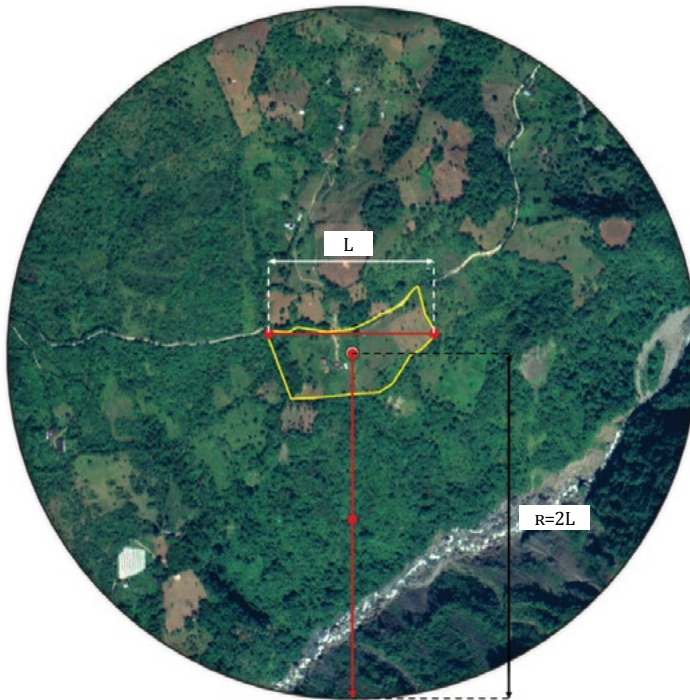


Figura 13. Medición del Área de Influencia (AI) de un agroecosistema mayor ficticio, donde se ha utilizado como radio del círculo, dos veces el valor de la bisectriz más larga de la finca (*Fuente:* elaboración de César Nicolás Martelo).

Para el primer indicador, la Distancia de fragmentos de vegetación (DFC), se miden las distancias de las coberturas vegetales identificadas con respecto al centro de la finca (el centro del área de influencia). A fin de establecer el promedio, se divide este número por la cantidad de fragmentos identificados en la imagen remota. A renglón seguido se calcula la proporción de este valor con respecto al radio del área de influencia, según la ecuación 5:

$$DFC = \frac{\sum_1^m DFC_i / m}{r} \quad (5)$$

Donde,

DFC = Distancia de los fragmentos de vegetación

DFC_i = Distancia del fragmento tipo i al centro de la finca

m = Número de fragmentos

r = Radio del área de influencia medido desde el centro de la finca.

Igualmente se calcula el indicador Distancia de cuerpos de agua al centro de la finca (DAC), midiendo las distancias de los cuerpos de agua existentes al centro de la finca, los cuales se promedian de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$DAC = \frac{\sum_1^m DAC_j / n}{r} \quad (6)$$

Donde,

- DAC = Distancia de los cuerpos de agua al centro de la finca
 DAC_j = Distancia del cuerpo de agua tipo j al centro de la finca
 n = Número de cuerpos de agua
 r = Radio del área de influencia medido desde el centro de la finca.

De la relación entre el promedio de las distancias de los fragmentos de vegetación natural (o cuerpos de agua) al centro de la finca, y el radio total, se genera una proporción asociada a la distancia, es decir, qué tan lejos o cerca se encuentran estos parches (o cuerpos de agua) del centro de la finca.

En este sentido, si la proporción es menor (cercana a 0%) se entiende que el promedio de los parches o cuerpos de agua se encuentran más cerca de la finca; por el contrario, cuando la proporción es mayor (cercana a 100%) se interpreta que estas coberturas o cuerpos de agua se encuentran alejados del agroecosistema mayor. Por supuesto, la proporción nunca será de 0% debido a que se evalúan los parches fuera del área de la finca, lo que deja el espacio entre el centro y su límite. En la Tabla 5 se presenta la interpretación de esta relación.

Tabla 5. Descripción de los indicadores Distancia de los fragmentos de vegetación al centro de la finca (DFC), Distancia de los cuerpos de agua al centro de la finca (DAC) y Densidad de fragmentos y cuerpos de agua (D), y sus categoría de evaluación.

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
DFC	Porcentaje del promedio entre los fragmentos de vegetación presentes en el área de influencia (AI) y el centro de la finca, respecto al radio del área de influencia.	Alto: 20%-30%	10
		Medio-alto: 31% - 40%	8
		Medio: 40% - 60%	6
		Medio-bajo: 61% - 80%	3
		Bajo: >= 81%	0

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
DAC	Porcentaje del promedio entre los cuerpos de agua presentes en el área de influencia (AI) y el centro de la finca, respecto al radio del área de influencia.	Alto: 20%-30%	10
		Medio-alto: 31% - 40%	8
		Medio: 40% - 60%	6
		Medio-bajo: 61% - 80%	3
		Bajo: >= 81%	0
D	Porcentaje del área total cubierta por los fragmentos de vegetación natural (arbustales, herbazales y/o bosques) y cuerpos de agua presentes en el área de influencia de cada finca.	Alto: 81% -100%	10
		Medio-alto: 61% -100%	8
		Medio: 41% -60%	6
		Medio-bajo: 21% - 40%	3
		Bajo: 0% - 20%	0

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para calcular la Densidad (D) de tales fragmentos de vegetación y cuerpos de agua con relación a la superficie total del área de influencia (AI) —delimitada y contenida en el círculo inicial dibujado alrededor de la finca—, se calculan sus correspondientes áreas, las cuales se dividen sobre el área de influencia (AI, que es el área total del círculo menos el área de la finca), para obtener un indicador de densidad, así:

$$D = \frac{\sum_1^m AF_i + \sum_1^n AA_j}{AI} * 100 \quad (7)$$

Donde,

D = Densidad de fragmentos de vegetación y cuerpos de agua

AF_i = Área de fragmentos de vegetación tipo i /

AA_j = Área de cuerpos de agua tipo j /

AI = Área de influencia.

Los diferentes resultados son valorados en una escala de 0 a 10 (Tabla 5), sumados y luego promediados (divididos por tres) (ver ecuación 8). El valor resultante en esa escala numérica representa directamente la Conexión del Agroecosistema Mayor con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (CEEP), que se interpreta de acuerdo con la Tabla 6.

$$CEEP = \frac{DFC + DAC + D}{3} \quad (8)$$

Tabla 6. Descripción del criterio 1: Conectividad del agroecosistema mayor con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (CEEP), calculado como un promedio de los indicadores DFC, DAC y D.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
CEEP	Relaciones de la finca con los fragmentos cercanos de vegetación natural y cuerpos de agua	Conexión con la EEP muy alta	10
		Conexión con la EEP alta	8
		Conexión con la EEP media	6
		Conexión con la EEP baja	3
		Conexión con la EEP muy baja	0

Fuente: elaboración propia.

A modo de ejemplo, en la Figura 14 se presenta una ilustración comparativa de dos fincas ubicadas en paisajes contrastantes de alta y baja conectividad con la estructura ecológica principal del paisaje.

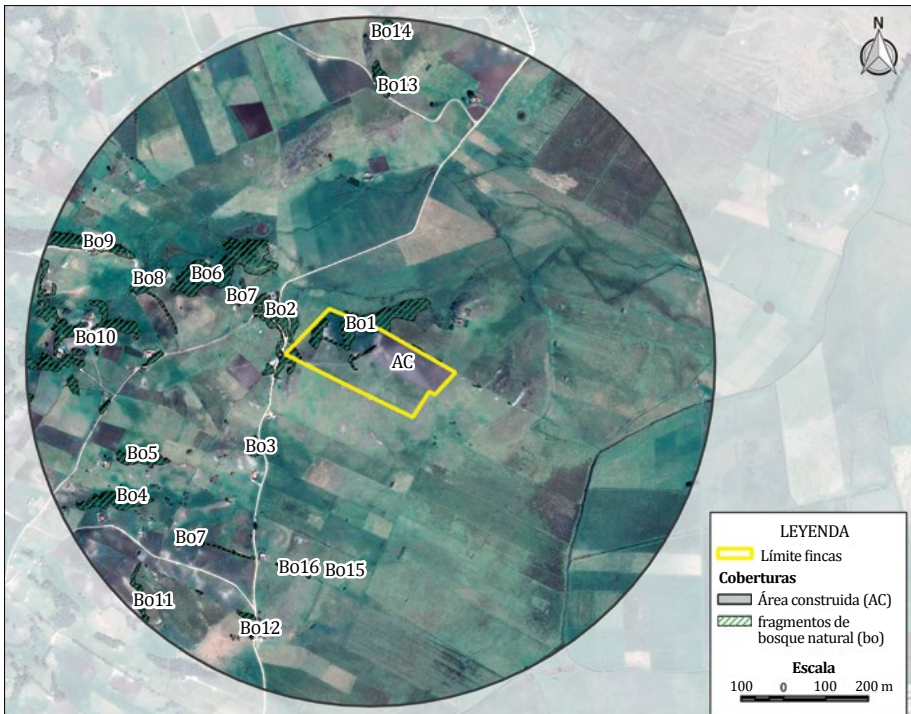


Figura 14A. Ejemplo ficticio de dos fincas con conexiones diferentes a la estructura ecológica principal del paisaje (CEEP). En A es evidente la desconexión de la finca con la estructura del paisaje, mientras en B la finca aparece apropiadamente conectada con dicha estructura. (Fuente: elaboración de César Nicolás Martelo).

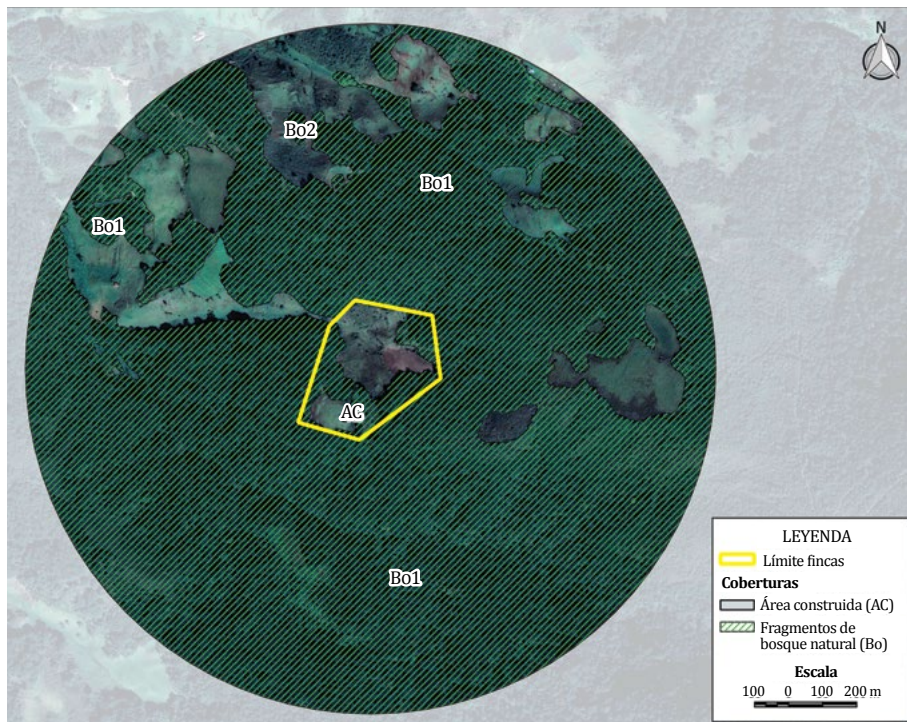


Figura 14B. Ejemplo ficticio de dos fincas con conexiones diferentes a la estructura ecológica principal del paisaje (CEEP). En A es evidente la desconexión de la finca con la estructura del paisaje, mientras en B la finca aparece apropiadamente conectada con dicha estructura. (Fuente: elaboración de César Nicolás Martelo).

Criterio 2: extensión de los conectores externos (ECE)

Este criterio busca medir los porcentajes ocupados por distintos tipos de vegetación en el perímetro de las fincas sin apelar todavía a una valoración de su diversidad (Figura 15). Como lo afirmaba León-Sicard (2014) “...entre mayor y más extensa sea la cerca viva, mayores serán sus beneficios para los agroecosistemas” (p. 176). Ello quiere decir que siempre será preferible contar con hileras de vegetación sembradas alrededor de la finca que solamente con cercas de alambre de púa u otros materiales inertes. Por supuesto que aquí entra también a jugar el concepto de diversidad funcional de tales cercas vivas, elemento que se tendrá en cuenta en los criterios 4 y 5 del índice EAP.

Como se verá en el apartado siguiente, la biodiversidad de los conectores, tanto internos como externos, ha sido objeto de varios trabajos que muestran sus efectos generales sobre las principales cualidades de los agroecosistemas mayores. Para los propósitos de este libro basta con referir que en la literatura especializada son escasos los estudios que intentan una clasificación general

del tipo de conector, bien sea por sus componentes de biodiversidad o por sus características de longitud o continuidad. Uno de estos estudios fue realizado por Aristide (2015), quien caracterizó bordes de cultivos en agroecosistemas campesinos del chaco semiárido en Argentina y propuso una serie de denominaciones para distinguir las diferentes de clases de vallas, cercos o conectores que encontró en su investigación, pero que no constituyen una propuesta sistemática sólida.

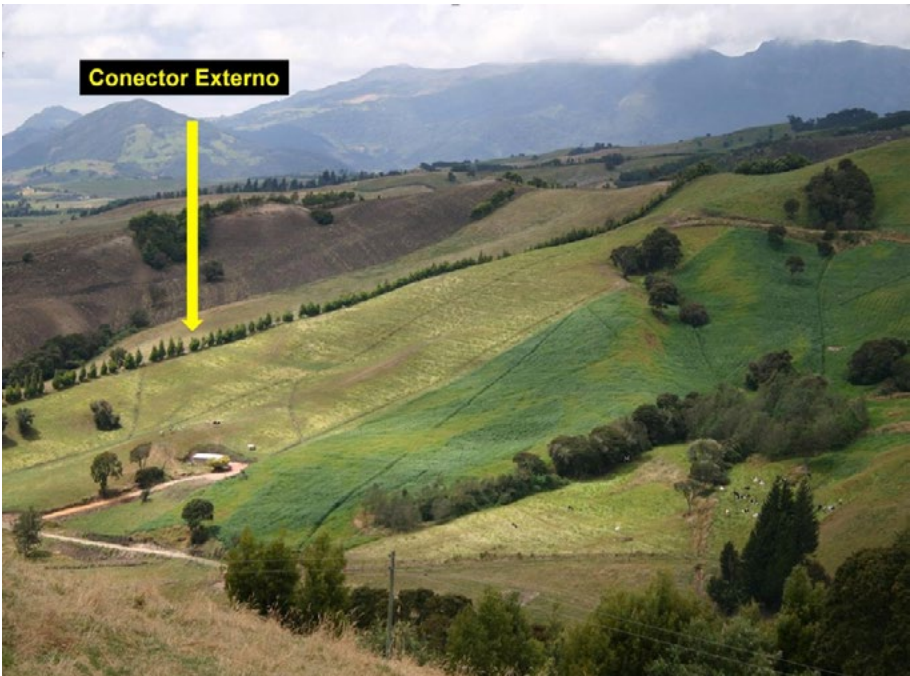


Figura 15. Vista de una cerca viva externa en una finca del departamento de Boyacá (Colombia). Nótese que se trata de un conector de muy baja diversidad, compuesto solo de una sola hilera de plantas de pinos. (Fuente: fotografía del autor).

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir los criterios 2 y 3: Extensión de Conectores Externos (ECE) y Extensión de Conectores Internos (ECI)

El criterio 2, ECE (al igual que el 3, ECI) se mide a través de un único indicador relacionado con la continuidad del perímetro externo de la finca que está ocupado por cercas vivas. En este caso, el nombre del criterio 2 (ECE) es sinónimo del indicador utilizado (Continuidad del perímetro). En la Tabla 7 se presentan la descripción y las categorías de evaluación del criterio (y del único indicador) utilizado para medir la extensión de los conectores externos de las fincas, lo que responde a la siguiente ecuación:

$$ECE = \frac{\sum_1^n(LCV_i)}{PF} * 100 \quad (9)$$

Donde,

LCV_i = Longitud de cada conector i con vegetación

PF = Perímetro de la finca.

Tabla 7. Descripción del criterio Extensión de los conectores externos de los agroecosistemas mayores (ECE) medido con el indicador Continuidad del perímetro.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Extensión de Conectores Externos (ECE)	El porcentaje de la extensión lineal de conectores de vegetación (cañadas, fragmentos, cercas vivas, cortinas rompe vientos y/o setos) en el total del perímetro de la finca. Se evalúa como la relación entre los conectores con vegetación del perímetro con respecto al total del mismo.	Perímetro continuo: 75%-100%	10
		Perímetro moderadamente continuo: 50%-75%	8
		Perímetro discontinuo: 25%-50%	6
		Perímetro fuertemente discontinuo: 12%-25%	3
		Perímetro extremadamente discontinuo: <12%	0

Fuente: elaboración propia.

Criterio 3: extensión de conectores internos (ECI)

Este criterio se refiere a la misma medición de la extensión lineal de conectores (que no sean cercas de alambre de púa o cercas eléctricas), pero al interior de cada agroecosistema mayor (Tabla 8 y Figura 16). Responde a la siguiente ecuación:

$$ECI = \frac{\sum_1^m(LCVI_j)}{LDI} * 100 \quad (10)$$

Donde,

$LCVI_j$ = Longitud de cada división interna j que es conector de vegetación

LDI = Longitud total de divisiones internas.

Tabla 8. Descripción del criterio e indicador Extensión de Conectores Internos (ECI).

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Extensión de Conectores Internos (ECI)	Porcentaje de extensión lineal de conectores de vegetación sobre el total de la longitud de las divisiones internas de la finca que separan las diferentes áreas productivas.	Muy alta: 75 -100%	10
		Alta: 50% - 75%	8
		Mediana: 25% - 50%	6
		Baja: 12% - 25%	3
		Muy baja: <12%	0

Fuente: elaboración propia.

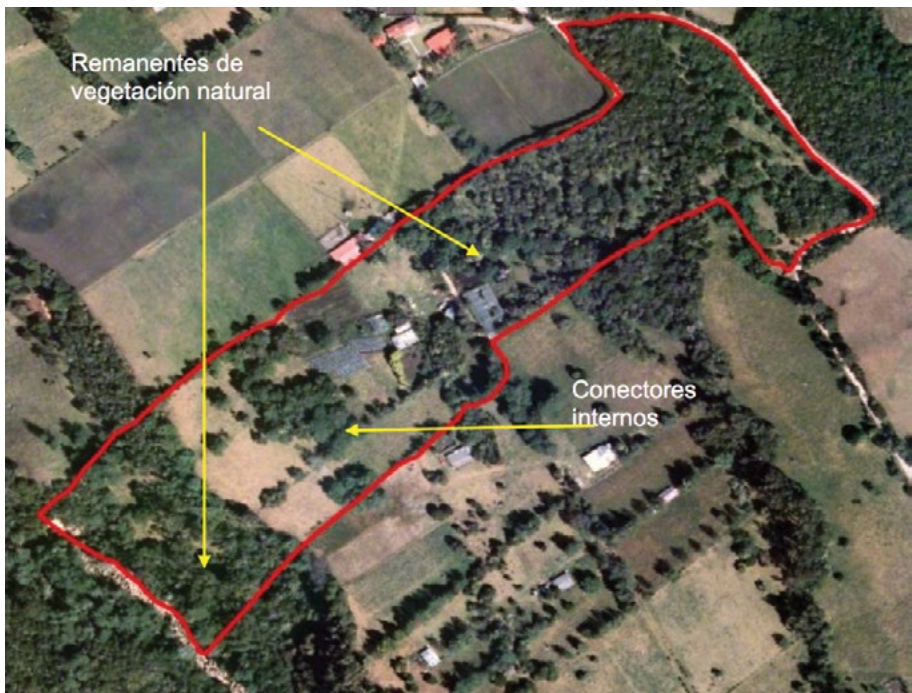


Figura 16. Conectores internos en la finca San Luis (vereda El Alisal, municipio de Guasca, Cundinamarca, Colombia). (Fuente: adaptado de Martínez, 2014).

Criterio 4: diversidad de conectores externos (DCE)

Pero tal vez más importante que la extensión de los conectores externos o internos de la finca, lo es su diversidad. Una cosa es tener cercas internas o externas de diversidad cero (alambres de púas, muros de adobe o piedra) o poseer hileras de árboles de una sola especie (en el caso de Colombia, generalmente

pinos o eucaliptos) y una cosa muy diferente es poseer dentro o alrededor del agroecosistema, parches o manchas de vegetación natural o secundaria, bosques de galería u otro tipo de corredores de vegetación arbustiva o arbórea que le sirvan a la finca de distintas maneras (Figuras 17 y 18). Ello porque ha sido ampliamente reconocido el papel de la agrobiodiversidad en un conjunto de funciones y servicios ecosistémicos, entre los que se destacan:

- Aportes a la soberanía, seguridad y autonomía alimentaria
- Reducción en la velocidad del viento
- Suministro de sombrero
- Atenuación de temperaturas
- Aporte de materiales orgánicos al suelo
- Oferta de recursos alimenticios para distintas especies
- Belleza escénica
- Oferta de materiales para usos diversos
- Hábitats para polinizadores
- Hábitats para enemigos naturales de herbívoros dañinos
- Alelopatías.

Una revisión de literatura realizada por Isbell *et al.* (2017), muestra que entre los efectos positivos de incrementar la agrobiodiversidad se encuentran las posibilidades de encontrar sustitutos para muchos insumos agrícolas costosos como abonos, plaguicidas y polinizadores, aumentar la producción de cultivos, el forraje y la disponibilidad de madera, mantener la estabilidad del rendimiento y varios servicios de regulación y apoyo de los agroecosistemas, como disminuir malezas y suprimir plagas, entre otros.

Al respecto, Hurtado *et al.* (2006) demostraron los efectos positivos de las barreras vivas a través de su influencia en la presencia y reproducción de controladores biológicos de las principales plagas del tabaco. Los autores utilizaron para su estudio tabaco negro de la variedad 'Sancti Spiritus 96' (SS-96), realizando pruebas para indagar la efectividad de barreras vivas de *Crotalaria cv Nett (Crotalaria juncea L.)* y maíz (*Zea mays L.*) respecto del grado de actividad de varios enemigos naturales que controlan poblaciones de *Heliothis virescens* F. Los autores encontraron que la actividad de los enemigos naturales fue alta en el área experimental mientras que para el área testigo no se observó actividad de los mismos o esta fue muy baja durante el estudio. El índice de intensidad de la plaga calculado fue de 5,21 % para la parcela experimental y fue superior en la parcela testigo donde alcanzó el 12,26 %.

A escala de cuencas hidrográficas también se ha demostrado el valor de conservar las cercas vivas que se incluyen como prácticas de restauración ecológica. En efecto, Martínez-Zepeda (2019) trabajando en un paisaje agrícola de la microcuenca Buenavista, en México, indicaba que las barreras vivas estaban a punto de desaparecer como elementos del paisaje (solo ocupaban el 9% del territorio). Aun así, este autor concluye que las barreras vivas son claves en el

funcionamiento de la cuenca al mitigar procesos erosivos, estabilizar terrenos, ofrecer hábitat para la fauna y mejorar las condiciones edáficas.

Es igualmente reconocido el papel que juegan las coberturas arbóreas en hileras o en parches (como barreras o cercas vivas) sobre los procesos de reciclaje de nutrientes y la conservación de la fertilidad del suelo, especialmente cuando se trata de árboles forrajeros. Así, Petit *et al.* (2009) realizaron una revisión de literatura sobre la influencia de especies arbóreas forrajeras incorporadas para incrementar la productividad y el ciclado de nutrientes en diversos agroecosistemas, reafirmando que su papel se expresa en: la incorporación de nitrógeno, cuyos niveles mejoran la fertilidad edáfica, alta producción de materia orgánica, eficiente reciclaje de nutrientes y simbiosis con distintos microorganismos que mejoran la disponibilidad de elementos en el suelo, todo ello en función, tanto de los recursos disponibles, como de los distintos manejos agroecosistémicos.

En la misma línea de trabajo, Pardon *et al.* (2017) evaluaron la influencia de hileras de árboles de diferentes tamaños en suelos bajo sistemas agroforestales de Bélgica, encontrando contenidos significativamente mayores de carbono orgánico y macronutrientes en los límites de los campos de cultivo y las hileras de árboles, muy probablemente como resultado de la entrada al sistema de la hojarasca de los árboles y del agua enriquecida con nutrientes (sodio y potasio). Adicionalmente, los autores indican que tales incrementos se relacionaban fuertemente con la distancia desde la hilera de árboles, con efectos graduales en las condiciones del suelo hasta al menos 30 m de distancia.

Por otra parte, la alta biodiversidad también puede influir en el comportamiento de distintas especies a través de la *alelopatía*, término botánico acuñado por Molisch (1937) (citado por Chou, 1990) que significa literalmente “el sufrimiento recíproco de dos organismos”. La alelopatía explica las interacciones bioquímicas que se dan entre distintas plantas y que, por lo general, producen efectos que reducen las posibilidades de germinación o desarrollo de plantas competidoras. Este fenómeno natural juega un rol sustancial en las interacciones entre plantas, con incidencia en sus comportamientos y funciones ecológicas. Chou (1990) agrega que los compuestos alelopáticos se liberan mediante procesos de volatilización, lixiviación, descomposición de residuos y exudación de raíces, afectados por múltiples factores edáficos, hídricos, orográficos, fisiográficos o climáticos de difícil detección.

La alelopatía constituyó un campo importante de estudio en la *malherbología* y sus aplicaciones, que abarcan distintos escenarios como el manejo de arvenses, arreglos de cultivos, los mecanismos de fertilización o abonamiento orgánico, el reciclaje de nutrientes y el diseño de agroecosistemas, especialmente de aquellos que tienden a la agricultura natural o de bajos insumos.

Pero, como se ha demostrado en numerosos estudios, las coberturas vegetales también generan importantes efectos positivos en la conservación de

aguas, factor que es vital, no solo a la luz de las actuales discusiones sobre cambio climático mundial, sino por el papel que juega el líquido en la preservación de la vida sobre el planeta en todos los niveles posibles. Se ha documentado que, incluso pequeños cambios en las estructuras de coberturas vegetales boscosas, producen modificaciones sustanciales en las dinámicas hídricas, como ocurre en algunos bosques secos argentinos (Marchesini *et al.*, 2009).

En este sentido, Lin (2010) realizó un estudio de los sistemas agroforestales de café en el sur de México (Chiapas) para valorar el efecto de distintos niveles de sombra en la disponibilidad de agua para agroecosistemas de café tradicional, en épocas de lluvia y de sequía. En porcentajes altos de sombrío (60-80 %), las tasas diarias de evaporación del suelo disminuyeron significativamente en 41 % en comparación con los sitios de poca sombra (10-30 %). El autor concluye que la presencia de coberturas de sombrío en los sistemas agroforestales es capaz de reducir la evaporación del suelo y la transpiración del café, por lo que ofrece un mayor nivel de protección de cultivos para los agricultores con vulnerabilidad a las sequías.

Por su parte, Gabriel *et al.* (2019) confirmaron la protección que ofrecen distintas coberturas sobre el recurso hídrico a largo plazo, al conducir un estudio de 10 años en España en el que constataron aumentos de la micro y macro porosidad del suelo, mejoras de la estructura y mayor capacidad de retención de agua —principalmente entre 40 y 80 cm de profundidad—, en suelos que se mantuvieron constantemente cubiertos.

Igualmente importante resulta el papel de las cercas vivas en la regulación de dinámicas poblacionales de aves. De la misma manera en que lo hicieron para establecer las relaciones de biodiversidad en los paisajes complejos, Garbach *et al.* (2010) estudiaron las relaciones e influjo de diferentes tipos de cercas vivas (multiestrato, simples e hilos de alambre) sobre la diversidad de la avifauna en el corredor biológico Volcánica Central-Talamanca en Costa Rica, observando mayor riqueza de especies en las cercas de varios estratos, moderada en las cercas simples y muy baja en las cercas de postes de alambre. Los autores demostraron que, tanto el comportamiento de alimentación como el de la reproducción, se relacionan con mayor frecuencia a las cercas multiestrato que a las simples o de control, y afirman que el manejo de podas que privilegia la altura y la complejidad estructural, mejora el uso entre muchas especies de aves y genera mayor soporte para su alimentación y reproducción.

Pero también la diversidad de las fincas influye en otras variables claves del bienestar humano, como la seguridad, soberanía y autonomía alimentarias (Fernández y Mendes, 2019). Estos autores demostraron que los paisajes agrobiodiversos de Chiapas (México) pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de la población al suministrar alimentos en períodos claves de inseguridad.



Figura 17. Vegetación secundaria en un bosque de galería que sirve de conector externo a la finca El Hato del municipio de La Vega (Cundinamarca, Colombia). (*Fuente:* fotografía del autor).

Sin embargo, Pirachicán (2015) demostró que no es solo la agrobiodiversidad por sí misma la que regula el autoconsumo o la autonomía alimentaria de los pobladores, sino que en ellas confluyen otras variables de índole cultural relacionadas con el acceso a mercados, los hábitos alimenticios, las estructuras familiares, la educación y otros parámetros de tipo social y político.

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir los criterios 4 y 5: Diversidad de Conectores Externos y Diversidad de Conectores Internos

La evaluación de estos dos criterios de diversidad se realiza teniendo en cuenta, de una parte, el perímetro de la finca que está cubierto con vegetación (DCE) y, por otra, a los conectores vivos que se encuentran al interior de las fincas (DCI). En los casos en los que la totalidad del perímetro no tenga ninguna vegetación o que los conectores internos sean cercas de alambres de púas, la valoración del criterio es cero.

Usualmente, la cuantificación y la cualificación de estos criterios de diversidad se obtienen a través de los métodos clásicos que ha propuesto la biología para medir la abundancia, riqueza o equitatividad de especies al interior de cualquier tipo de cobertura. Se emplean procedimientos estadísticos aceptados para establecer transectos y obtener muestras de material vegetal en los distin-

tos estratos (rasante, arbustivo, arbóreo), con parcelas de diferente área (entre uno y diez metros cuadrados). Las muestras se recogen, secan y transportan hasta herbarios especializados para su identificación con distintas referencias.

De manera concomitante, los investigadores generalmente recurren al conocimiento local de personas con experiencia y sabiduría que identifican los nombres comunes y los usos, lo cual refuerza el valor de la información colectada en campo. Esto se hace a través de recorridos guiados y de talleres de cartografía social.

El criterio de la diversidad de los conectores externos utiliza dos indicadores: la Riqueza de los conectores externos (RCE) y la Estratificación de los conectores externos (EsCE). Igualmente, el criterio Diversidad de Conectores Internos, utiliza dos indicadores: Riqueza de conectores internos (RCI) y Estratificación de los conectores internos (EsCI). Estos indicadores se miden utilizando las herramientas presentes en los *software* de Google Earth Pro® o de otros programas afines que se desee utilizar. Incluso se pueden medir con elementos clásicos de fotogrametría. Los indicadores se miden por aparte y luego se promedian, de acuerdo con las ecuaciones siguientes:

Para la Riqueza de conectores externos (RCE):

$$RCE = \frac{\sum_1^n (LCV_r * R_r)}{LCV_{total}} \quad (11)$$

Donde,

LCV_r = Longitud del conector de vegetación con clasificación de riqueza tipo r

R_r = Ponderación de la riqueza tipo r (Tabla 9)

n = Número de tipo de riquezas encontradas en el perímetro

LCV_{total} = Longitud del conector de vegetación total.

Tabla 9. Ponderación de los niveles de riqueza en los conectores externos e internos de los agroecosistemas mayores.

	Clasificación	Ponderación
R_{ma}	Riqueza muy alta: con diez o más especies	10
R_a	Riqueza alta: entre seis y nueve especies	8
R_m	Riqueza mediana: entre cuatro y cinco especies	6
R_b	Riqueza baja: entre dos y tres especies	3
R_{mb}	Riqueza muy baja: con una sola especie	1

Fuente: elaboración propia.

Para la Estratificación de los conectores externos (EsCE):

$$EsCE = \frac{\sum_1^n (LCV_e * E_e)}{LCV_{total}} \quad (12)$$

Donde,

LCV_e = Longitud del conector de vegetación con clasificación de estratificación tipo e

E_e = Ponderación de la estratificación tipo e (Tabla 10)

LCV_{total} = Longitud del conector de vegetación total.

Tabla 10. Ponderación de la Estratificación en los conectores externos (EsCE) e internos (EsCI) de los agroecosistemas mayores.

	Clasificación	Ponderación
E_{ma}	Estratificación muy alta: cinco o seis estratos	10
E_a	Estratificación alta: cuatro estratos	8
E_m	Estratificación mediana: tres estratos	6
E_b	Estratificación baja: dos estratos	3
E_{mb}	Estratificación muy baja: solo un estrato	1

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se han calculado los indicadores RCE y EsCE, se suman y dividen por dos, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$DCE = \frac{(RCE + EsCE)}{2} \quad (13)$$

El resultado se interpreta de acuerdo con la Tabla 11, que también se utiliza para valorar la Diversidad de los conectores internos (DCI).

Tabla 11. Descripción de los criterios Diversidad de Conectores Externos (DCE) y Diversidad de Conectores Internos (DCI) que utilizan dos indicadores cada uno: riqueza y estratificación de los conectores.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Diversidad de conectores externos (DCE) y de conectores internos (DCI)	Promedio de la riqueza de especies y de la estratificación de hileras: (RCE + ESCE) / 2 y (RCI + ESCI) / 2	Conectores con muy alta riqueza y estratificación Promedio entre 9 y 10.	10
		Conectores con alta riqueza y estratificación Promedio entre 7 y 8.	8
		Conectores con mediana riqueza y estratificación Promedio entre 5 y 6.	6
		Conectores con baja riqueza y estratificación Promedio entre 3 y 4.	3
		Conectores con muy baja riqueza y estratificación Promedio menor que 2.	1

Fuente: elaboración propia.

Criterio 5: diversidad de conectores internos (DCI)

El criterio DCI es básicamente similar en su concepción y medición al criterio Diversidad de conectores externos (DCE). La única diferencia es que se aplica a la riqueza (número de especies) y a los estratos verticales (rasante, herbáceo, arbustivo, arbolitos, dosel superior, emergentes) observados en los conectores de vegetación localizados en las divisiones internas de la finca (Figura 18). El DCI se evalúa a través de la ponderación de los indicadores de niveles de riqueza y estratificación como fueron definidos anteriormente (Tablas 9 y 10) y correspondiente a las siguientes ecuaciones:

Para la Riqueza de especies en los conectores internos (RCI):

$$RCI = \frac{\sum_1^n (LCVI_r * R_r)}{LCVI_{total}} \quad (14)$$

Donde,

$LCVI_r$ = Longitud de conectores internos con clasificación de riqueza tipo r

R_r = Ponderación de la riqueza tipo r (Tabla 9)

n = Número de tipo de riquezas encontradas en las divisiones internas.

$LCVI_{total}$ = Longitud de conectores internos totales.

Para los Estratos de la vegetación en los conectores internos (ESCI):

$$EsCI = \frac{\sum_1^n (LCVI_e * E_e)}{LCVI_{total}} \quad (15)$$

Donde,

= Longitud de la división interna con vegetación con estratificación tipo e

= Ponderación de la estratificación tipo e (Tabla 10)

= Longitud de conectores internos totales.

La medición final se realiza mediante la siguiente expresión, cuya interpretación se presentó en la Tabla 11:

$$DCI = \frac{RCI + EsCI}{2} \quad (16)$$



Figura 18. Cercas de alambre de púa como conectores internos de cero diversidad en una finca campesina del departamento de Boyacá, Colombia. (Fuente: fotografía del autor).

Criterio 6: usos del suelo (us)

Este criterio expresa la intencionalidad de los propietarios para conducir la agrobiodiversidad hacia distintos fines económicos, ecosistémicos, sociales, e incluso, simbólicos. Los usos del suelo materializan ideologías, perspectivas,

percepciones, intereses y objetivos de los agricultores, así como toda la gama de opciones tecnológicas disponibles para el manejo mismo de los agroecosistemas mayores. También es la arena de encuentro entre los agroecosistemas menores (cultivos, sitios forestales, praderas) con la constelación de variables ambientales que caracterizan cada agroecosistema mayor.

El concepto incluye, no solo la arquitectura de la finca y la disposición espacial de sus componentes, sino también la naturaleza de los mismos. Se refiere al manejo de cada espacio del agroecosistema mayor y a su entronque con la disposición que se haya realizado en términos de monocultivos o de policultivos. Es más: se refiere también a la presencia o no de otras coberturas vegetales como bosques, herbazales o arbustales que se establezcan o que se dejen intencionalmente en los agroecosistemas, como parte de su manejo general.

Las decisiones tomadas respecto a qué tipo de plantas dejar establecidas en los espacios internos de las fincas, generan efectos en el uso o no de sustancias químicas y en la aparición o no de determinadas especies vegetales o animales con implicaciones en la sanidad y en la productividad de las fincas. Pero también con implicaciones a corto, mediano y largo plazo sobre la conservación de bienes naturales, claves en su funcionamiento ecosistémico y, en especial, de suelos y aguas.

Los suelos se benefician de la agrobiodiversidad dispuesta por los agricultores, en términos de su protección contra la erosión, los incrementos de materia orgánica, la eficiencia en el reciclaje de nutrientes, la conservación y disposición eficiente de agua, en la mejora de sus propiedades químicas y físicas, y en el mantenimiento de millones de seres individuales y de cientos de miles de especies que conforman la biota edáfica. Esta última incluye la biodiversidad de bacterias, hongos, actinomicetos, algas, moluscos, artrópodos, anfibios, reptiles y mamíferos que habitan el suelo o que lo utilizan en alguna de sus fases vitales de crecimiento y reproducción; representa quizás uno de los aspectos menos conocidos de la agrobiodiversidad y que mayor atención reclama para su conservación, por la cantidad de servicios y funciones ecosistémicas y ambientales que generan.

Por fuera de la eliminación total o parcial de plaguicidas de síntesis química y de los efectos benéficos que ello traería a la vida general del planeta, la agrobiodiversidad aumentada —expresada en arreglos de policultivos o de sistemas agrosilvopastoriles o agroforestales— genera una serie de beneficios ampliamente estudiados por varios investigadores, algunos de ellos de tipo ecosistémico (Altieri y Nicholls, 2004, 2007; Altieri *et al.*, 2012; Blanco *et al.*, 2013; Cepeda-Valencia *et al.*, 2014; Andrade y Segura, 2016) y otros referidos a aspectos culturales, especialmente económicos (Calvet-Mir *et al.*, 2012; Caro-Caro y Torres-Mora, 2015; Dai *et al.*, 2015; Sánchez y Villegas, 2015; Hanna *et al.*, 2016; Arias, 2017; Daniels *et al.*, 2017; Espinoza-Núñez, 2017). Como

ya se indicó, una exhaustiva y completa revisión de literatura sobre el tema se encuentra en Melgarejo (2019).

Altieri (1999c) sugiere que el nivel de regulación interna de la función en los agroecosistemas depende en gran medida del nivel de biodiversidad vegetal y animal presente, que genera una amplia variedad de servicios ecológicos más allá de la producción de alimentos, como el reciclaje de nutrientes, la regulación del microclima y de los procesos hidrológicos locales, la supresión de organismos indeseables y la desintoxicación de productos químicos nocivos.

Este autor indica que debido a que los procesos de renovación y los servicios ecológicos mediados por la biodiversidad son en gran parte biológicos, su persistencia depende del mantenimiento de la integridad biológica y la diversidad en los agroecosistemas.

Aquí sostenemos que, además, todos los factores que determinan el uso de la agrobiodiversidad y sus efectos positivos en diferentes aspectos como resiliencia, productividad o estabilidad de los agroecosistemas, incluyen también y necesariamente, aspectos culturales como la educación, los accesos a tecnologías apropiadas, la infraestructura disponible, la dinámica de los mercados o las políticas públicas. En esta línea de pensamiento, Rogé *et al.* (2014), en un estudio con pequeños agricultores en la región Mixteca Alta de Oaxaca, México, valoraron su adaptación a la variabilidad climática y reconocieron que la organización social y la educación son necesarias para mejorar los indicadores de agrobiodiversidad y de resiliencia a los cambios del clima a escala de paisaje. Un poco más allá, Córdoba *et al.* (2019) sostienen que la resiliencia no se logra sino a condición de transformar las condiciones de inequidad económica y política en que se desenvuelven los agricultores campesinos.

A similares conclusiones llegaron Córdoba y León-Sicard (2013) y Calderón *et al.* (2018). Estos últimos, trabajando con 20 familias de pequeños agricultores del occidente de Guatemala, encontraron diferencias entre los agricultores agroecológicos y aquellos semi-convencionales respecto de las proporciones de productos comercializados, ingresos agrícolas brutos y diversidad de plantas, situaciones que los llevaron a pensar que los primeros eran más resilientes en términos generales. Los autores concluyen que las economías solidarias generan una red social más fuerte entre las granjas agroecológicas y en ellas son claves los roles de género.

Por otra parte, y tal como se ha afirmado anteriormente, los usos de la tierra al interior de las fincas que contemplan en sus diseños la presencia de árboles (en sistemas multiestrato como en los cultivos de café tradicionales o en otros tipos de usos integrados de tipo agrosilvopastoril o agroforestal), además de presentar ventajas en relación con los sistemas productivos, son sumideros potenciales de la mayor importancia para absorber grandes

cantidades de carbono (C), en consecuencia, tales sistemas de uso de la tierra están recibiendo mayor reconocimiento con relación a la sostenibilidad agrícola y su rol en la mitigación del cambio climático, en términos de sus ventajas y desventajas (Calfapietra *et al.*, 2010; Lasco *et al.*, 2014; Ruelas-Monjardín *et al.*, 2014).

Al respecto, Albrecht y Kandji (2003) muestran que el potencial de asimilación de C de los sistemas agroforestales se estima entre 12 y 228 mg ha⁻¹ con un valor medio de 95 mg ha⁻¹; al mismo tiempo indican que los sistemas de rotación larga —como los arreglos agroforestales, los huertos familiares y las plantaciones ubicadas en las cercas vivas— pueden secuestrar cantidades considerables de C en la biomasa vegetal, en el suelo y en productos de madera duraderos.

En consecuencia, son múltiples los estudios que señalan los efectos benéficos de instalar cultivos múltiples y asociaciones de policultivos que favorezcan la agrobiodiversidad en todas sus expresiones, desde la biodiversidad edáfica y de plantas adventicias, hasta la riqueza de especies, variedades, cultivares, razas y clases de plantas y animales, terrestres o acuáticos, que confluyen en el agroecosistema mayor.

Una reciente revisión de literatura realizada por Ranjith *et al.* (2019) revela que la diversidad de flora, fauna y de microorganismos del suelo es significativamente mayor en los sistemas agroforestales que en las tierras adyacentes ocupadas por monocultivos o por praderas. Se destacan en esta revisión los datos que señalan las actividades superiores de hongos, micorrizas arbusculares, bacterias y actinomicetos en los sistemas con árboles, lo cual se explica en parte por la alta densidad de biodiversidad que se crea alrededor de los árboles, debido a condiciones favorables de las relaciones suelo-planta-agua y las condiciones micro climáticas.

Es cierto que existen distintas clases de arreglos de cultivos, especies animales y sistemas agroforestales, silvícolas o silvopastoriles. A pesar de esto, la presente propuesta trata de matizar esa “escala de grises” que obligadamente se observa en los usos del suelo de los agroecosistemas mayores y presenta una escala de evaluación (Tabla 12) que le concede mayor importancia, y por tanto mayor valor relativo, a los usos de la tierra dentro de aquellas fincas que promueven la agrobiodiversidad.

Tabla 12. Descripción del criterio e indicador Usos del suelo (US) en el agroecosistema mayor.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Usos del suelo(us)	Favorables a la agrobiodiversidad en cobertura total	El 100% de la finca está utilizada con policultivos o coberturas arbóreas en sistemas silvopastoriles, agroforestales u otros (herbazales, matorrales, arbustales)	10
	Favorables a la agrobiodiversidad en cobertura muy alta	Entre el 75% y el 99% de la finca está utilizada con policultivos o coberturas arbóreas en sistemas silvopastoriles, agroforestales u otros (herbazales, matorrales, arbustales)	8
	Favorables a la agrobiodiversidad en cobertura media alta	Entre el 50% y el 74% de la finca está utilizada con policultivos o coberturas arbóreas en sistemas silvopastoriles, agroforestales u otros (herbazales, matorrales, arbustales)	6
	Favorables a la agrobiodiversidad en cobertura baja	Entre el 25% y el 49% de la finca está utilizada con policultivos o coberturas arbóreas en sistemas silvopastoriles, agroforestales u otros (herbazales, matorrales, arbustales)	4
	Favorables a la agrobiodiversidad en cobertura muy baja	Entre el 12% y el 24% de la finca está utilizada con policultivos o coberturas arbóreas en sistemas silvopastoriles, agroforestales u otros (herbazales, matorrales, arbustales)	2
	Desfavorables a la agrobiodiversidad en cobertura muy alta	La finca se utiliza principalmente en un tipo de cobertura (monocultivos o praderas)	0

Fuente: elaboración propia.

Se puede deducir de esta afirmación que aquellos usos del suelo en los que predominan los cultivos múltiples, ya sean en asociados, franja o en relevo, policultivos de cualquier clase y arreglos agrosilvopastoriles de tipo agroecológico como los que promueve el CIPAV (Murgueitio, 2003) que maneja al mismo tiempo coberturas de pasto, matorrales y distintos estratos arbóreos, son considerados en este criterio como usos del suelo altamente favorables para la agrobiodiversidad. A su vez, usos del suelo en los que predominan el monocultivo agropecuario o los denominados cultivos limpios o praderas de una sola especie de pastos, son considerados no favorables a la agrobiodiversidad.

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir el criterio 6: Usos del suelo (US)

Para medir este criterio se puede acudir a procesos de identificación de coberturas, utilizando o no las categorías expuestas por el programa Corine Land Cover o utilizando las convenciones propias de usos de la tierra que se acomoden mejor a cada situación. La medición de estas áreas se facilita en los respectivos programas especializados o realizando las mediciones directamente en las imágenes de percepción remota con técnicas de fotointerpretación.

El único indicador utilizado para evaluar este criterio de Usos del suelo (US) se expresa en la siguiente ecuación y se muestra en la Tabla 12:

$$US = \frac{\sum_1^n A_{ABj}}{A_F} * 100 \quad (17)$$

Donde,

A_{ABj} = Área de usos tipo j que benefician la agrobiodiversidad
 A_F = Área total de la finca.

Criterio 7: prácticas de manejo (PMA y PMg)

Como se ha venido discutiendo en las páginas precedentes, la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores o fincas (EAP) se relaciona íntimamente con los tipos de coberturas vegetales (cultivos, bosques, matorrales, arbustales, herbazales, praderas) que se encuentren dentro y en las zonas cercanas o entornos próximos de las fincas, como una manera de acercarse a mediciones más o menos precisas de la agrobiodiversidad.

Sin embargo, la mera descripción de los componentes vivos presentes en las coberturas de cada agroecosistema no basta para los propósitos de comprensión de la EAP, en tanto que ella pretende expresar componentes ambientales (ecosistémicos y culturales) de la agrobiodiversidad. En este contexto se justifica la descripción y valoración de las prácticas agropecuarias, ecológicas o convencionales, que se encuentran “detrás” de cada cobertura, es decir, que las justifican y las vuelven realidad.

Para efectos de ordenar este criterio, de darle cabida a las prácticas pecuarias y de reconocer la existencia y co-existencia de prácticas pecuarias y agrícolas en los distintos agroecosistemas mayores, este criterio se ha subdividido en dos: Prácticas de manejo agrícola (PMA) y Prácticas de manejo ganadero (PMg).

Prácticas de Manejo Agrícola (PMA)

A su vez, las prácticas de manejo reflejan diversas formas de representación de la existencia humana, de habitar el mundo o, si se quiere, posiciones filosóficas que explican la presencia o no de determinadas coberturas dentro de los agroecosistemas. Más aún, detrás de esas prácticas de manejo se incluye una constelación de variables complejas que también ayudan a comprenderlas y que se relacionan con tradiciones, procesos educativos, posibilidades económicas, trayectorias históricas, entornos familiares, posibilidades materiales, etc. Tales variables podrán ser abordadas por cada investigador cuando trate de explicar diferencias en la EAP de distintos agroecosistemas.

Por ahora, basta con reafirmar que los agricultores ecológicos y/o agroecólogos implementan múltiples prácticas que van desde la selección de los sitios de cultivo hasta el cuidado de las semillas, abonamientos, manejos de arvenses, manejos fitosanitarios sin agroquímicos, uso de biopreparados (caldos microbianos, purines; ver la Figura 19), rotaciones de cultivos, y prácticas de cosecha y postcosecha que incluyen los principios y las experiencias publicadas en numerosas obras de literatura científica y de divulgación. Muchas de ellas se cruzan con otras denominaciones, como las de la agricultura de conservación, que también utilizan prácticas amigables con los entornos ecosistémicos y que han sido valoradas en distintos contextos, incluso desde el punto de vista económico, político y decisional (Knox *et al.*, 2011; Baudron *et al.*, 2014; Brouder y Gomez-Macpherson, 2014; Corbeels *et al.*, 2014; Palm *et al.*, 2014; Pannell *et al.*, 2014; Rosenstock *et al.*, 2014; Hijbeek *et al.*, 2019).

Uno de tales estudios, realizado por Kirkegaard *et al.* (2014) en Australia, en donde la agricultura de conservación —la cual utiliza labranza cero, cubiertas permanentes del suelo y diversas rotaciones de cultivos— presenta la mayor tasa de adopción del mundo, muestra que su aplicación sigue siendo pragmática (mezcla de distintos tipos de labranza y de coberturas), debido a los diversos factores biofísicos y socioeconómicos encontrados y tiene sentido para optimizar resultados, tanto económicos como ambientales.

Estas prácticas agrícolas ecológicas o de base agroecológica, refuerzan las ventajas que ofrecen las distintas coberturas, porque ellas utilizan insumos materiales que, contribuyen a preservar y a fortalecer la agrobiodiversidad, incluyendo aquellos otros de sus componentes que casi no se ven o que casi no se reconocen en la literatura: los componentes de la biodiversidad edáfica, que incluyen el universo limitado de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, algas) y macroorganismos del suelo (moluscos, vertebrados, mamíferos, rotíferos, reptiles).

Uno de esos pocos estudios fue realizado por Martínez-García *et al.* (2018) a través de un experimento de campo a 10 años diseñado para probar los

efectos combinados del manejo del suelo orgánico *versus* el manejo convencional, con diferentes especies de cultivos de cobertura y distintos tratamientos de abonamiento, sobre varias características de la comunidad microbiana. Los resultados mostraron que el manejo orgánico del suelo mejoraba la biomasa microbiana total al aumentar la biomasa fúngica micorrízica, bacteriana, saprotrófica y arbuscular, a la par que generaba mayor actividad catabólica microbiana total que se asocia con el mantenimiento de una alta eficiencia. Los efectos del manejo orgánico resultaron también en una mayor proporción de hongos:bacterias y menor repelencia al agua de los suelos tratados. Los autores concluyen que el manejo orgánico del suelo mejora la abundancia de todos los grupos microbianos y su actividad catabólica total, asociada con una mayor concentración y una menor aromaticidad de la materia orgánica disuelta... efectos que pueden aumentarse mediante el crecimiento de cultivos de cobertura específicos y la aplicación de ciertos tratamientos de salud del suelo.

Con relación a otros factores, Bai *et al.* (2018) analizaron los efectos de cuatro prácticas comunes utilizadas en sistemas de agricultura de conservación (adición de materia orgánica, no labranza, rotación de cultivos y agricultura orgánica) sobre los niveles de materia orgánica del suelo, el pH, la estabilidad estructural, la presencia de lombrices de tierra y los rendimientos de cultivo. Para ello se realizó un análisis de información de 30 experimentos de largo plazo en 13 sitios tomados como estudio de caso en Europa y China, lo cual se complementó con datos de otros 42 experimentos de largo plazo en China y de 402 observaciones de ensayos de largo plazo (al menos de cinco años) publicados en la literatura. Esta revisión mostró varios efectos favorables: en primer lugar, la adición de materia orgánica incidió positivamente en todos los indicadores considerados. En segundo lugar, demostraron que la ausencia de labranza generalmente conduce a una mayor estabilidad estructural y a mayores contenidos de materia orgánica en los horizontes superiores del suelo. En tercer lugar, el estudio demostró que la rotación de cultivos conserva la materia orgánica y además favorece el número de lombrices de tierra, que también se benefician de las prácticas de agricultura orgánica, al igual que la estabilidad de los agregados. En general, los autores no encontraron una tendencia clara para el pH.

En términos más específicos y relacionados con la agricultura orgánica, Schrama *et al.* (2018) analizaron un sistema de agricultura orgánica y dos sistemas convencionales encontrando que, en una primera instancia, los rendimientos en el sistema orgánico fueron menores, pero luego de 10 a 13 años se aproximaron a los rendimientos de los sistemas convencionales mientras demandaban cada vez menos cantidades de nitrógeno. El sistema de agricultura de conservación también mostró, a largo plazo, mayor estabilidad espacial del pH, transformaciones y disponibilidad de nutrientes, así como mayor

abundancia de biota en el suelo. De igual manera, se pudo comprobar que el sistema orgánico generaba mejores condiciones de estructura, estabilidad de agregados, contenidos de materia orgánica y reducciones significativas de la lixiviación de nitratos y de presencia de nematodos. La estabilidad temporal fue mayor en el sistema de cultivo orgánico.

Pero más allá de las comparaciones entre prácticas agrícolas que pertenecen a uno u otro tipo de sistema, se reconoce que, en general, las prácticas agrícolas que incluyen laboreo del suelo, fertilización o abonamiento y manejo de residuos, pueden afectar los procesos de escorrentía, la erosión edáfica y los balances de nutrientes, incidiendo a su vez, tanto en los rendimientos de los cultivos y en el balance de distintos compartimentos ecosistémicos, como en los reservorios subterráneos y superficiales de agua y en su calidad (Mueller-Warrant *et al.*, 2012; Lepsch *et al.*, 2019).

No es el propósito de este libro enumerar, discutir o analizar tales prácticas desde diversos enfoques que ya son reconocidos por sus efectos ambientales positivos; no obstante, sí es necesario aclarar que, frente a las metodologías de valoración de la EAP que hasta ahora destacaban el valor del manejo de arvenses, en esta nueva propuesta se han concentrado todas las prácticas de cultivo (incluido el manejo de arvenses) en un solo criterio a fin de dar cabida a otro criterio de igual valor: las prácticas de conservación de suelos y aguas. Sin embargo, es necesario recalcar, como lo hizo León-Sicard (2014) que el manejo de arvenses posee un “toque” especial en cuanto contribuye a la comprensión del manejo de la agrobiodiversidad. En efecto, este acento especial se debe a que, durante muchos años, las plantas adventicias fueron consideradas malezas y la ciencia oficial convirtió su estudio en una rama especializada del conocimiento (la malherbología) que logró éxitos importantes en la comprensión de procesos fisiológicos, alelopáticos y de erradicación de tales plantas, justo lo contrario a lo que la agroecología reconoce y predica desde hace varios lustros: que las mal llamadas malezas son en realidad plantas arvenses que prestan distintas funciones en el agroecosistema y que, bien manejadas, pasan de ser un factor limitante (por la competencia por agua, luz, espacio y nutrientes) a impulsoras de otros servicios benéficos para la producción agropecuaria a corto y largo plazo (disminución de organismos dañinos y aumento de organismos benéficos, reciclaje de nutrientes, conservación de estructura y humedad del suelo, oferta alimenticia y usos medicinales) (Blanco y Leyva, 2007). Estas autoras indican que, entre otras, estas plantas poseen múltiples atributos y utilidades:

- Comestibles, medicinales, forrajeras
- De cobertura (disminuyen la erosión del suelo)
- Protectoras de la fertilidad edáfica
- Extractoras de elementos nutritivos que se encuentran en el subsuelo
- Hospederas de organismos benéficos

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas

- Alelopáticas, melíferas y poliníferas
- Productoras de energía
- Estimuladoras del crecimiento
- Cultivos trampa para insectos herbívoros
- Hospederas primarias de organismos fitoparásitos que toman a la planta cultivada como una alternativa de segundo orden
- Indicadoras de parámetros ecológicos como humedad, acidez, fertilidad del suelo, o presencia de metales pesados
- Potencialmente cultivables
- Reservorios u hospederas de organismos que generan asociaciones simbióticas con el cultivo, particularmente con bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas.

En consecuencia, se asume *a priori* que una persona o grupo que pueda identificar y manejar sus plantas adventicias deliberadamente, en el sentido positivo de entenderlas como parte de la agrobiodiversidad y de no intentar eliminarlas de sus predios a toda costa, posee un nivel de comprensión y de conciencia ambiental de grado distinto a quien apela a medios físicos o químicos para erradicarlas a cualquier precio.

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir el criterio 7a: Prácticas de Manejo Agrícola (PMA)

En las Tablas 13, 14 y 15 se condensan las calificaciones otorgadas en este trabajo a los cuatro indicadores utilizados para el criterio Prácticas de manejo agrícola (PMA), que son: Semillas (S), Preparación del suelo (PS), Abonamiento (A) y Manejo fitosanitario (MF), que incluye la referencia al manejo de arvenses.

La información requerida para estos cuatro indicadores se obtiene toda a partir de encuestas y de entrevistas que realiza el investigador a los propietarios y, en muchas ocasiones, a los administradores de las fincas, usando también técnicas cualitativas de recopilación y análisis, como la observación participante, talleres y mapas conceptuales recabados en el trabajo con las comunidades.

Tabla 13. Descriptores, evaluación y valores del indicador Semillas (S).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Semillas (S)	Procedencia, tipo, producción y conservación	Semilla propia, ecológica/ancestral, diversa y producida localmente. Conservada con procedimientos ecológicos	10
		Semilla adquirida ecológica/ancestral, diversa y obtenida localmente. Conservada con procedimientos ecológicos	8
		Semilla adquirida, orgánica diversa y no obtenida localmente. Conservada con procedimientos químicos	6
		Semilla convencional, no diversa (híbridos) y no obtenida localmente. Conservada con procedimientos químicos	3
		Semilla transgénica	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Descriptores, evaluación y valores del indicador Preparación del suelo (PS).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Preparación del suelo (PS)	Tipo de labranza, intensidad, prácticas complementarias de conservación	Labranza cero. Baja intensidad de laboreo con prácticas complementarias: abonos verdes, coberturas, manejo residuos de cosechas, rastrojos, barbechos	10
		Labranza reducida. Baja intensidad de laboreo, pero sin prácticas complementarias	8
		Labranza reducida (cincel). Mediana intensidad de laboreo con prácticas complementarias	6
		Labranza convencional (arados, rastrillos, rastras). Alta intensidad de laboreo con alguna práctica complementaria	3
		Labranza convencional. Alta intensidad de laboreo sin prácticas complementarias	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Descriptores, evaluación y valores del indicador Abonamiento (A).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Abonamiento (A)	Tipos de abonos, rotaciones, prácticas complementarias, fertilización.	Abonos orgánicos producidos en finca (compost, estiércol madurado, humus, abono verde, biofertilizante, preparado microbiano, lombricompuesto), alta rotación y prácticas complementarias (mulch, barbechos, análisis de suelos)	10
		Abonos orgánicos comprados, alta rotación y/o prácticas complementarias	8
		Abonos orgánicos mezclados con fertilizantes químicos, alta a media rotación, pocas prácticas complementarias	6
		Fertilizantes químicos en dosis bajas, poca rotación, pocas prácticas complementarias	3
		Fertilizantes químicos en dosis altas, sin rotación ni prácticas complementarias	0

Fuente: elaboración propia.



Figura 19. Elaboración de biopreparados en la finca Mandala en Fredonia (Antioquia, Colombia), faro agroecológico en la región, propiedad de Isabel Cadavid (Fuente: fotografía del autor).

Tabla 16. Descriptores, evaluación y valores del indicador Manejo fitosanitario (MF).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Manejo fitosanitario (MF)	Manejo de arvenses, prácticas complementarias, tipo de control, plaguicidas de síntesis química.	Manejo ecológico de arvenses, con prácticas complementarias (alelopatía, bioles, purines, hidrolatos, sistemas push-pull, cultivos acompañantes, integración de animales), controles mecánicos y biológicos. Sin uso de plaguicidas	10
		Manejo ecológico de arvenses, con pocas prácticas complementarias, controles mecánicos y biológicos. Sin uso de plaguicidas	8
		Manejo ecológico de arvenses, sin prácticas complementarias, controles mecánicos y biológicos. Sin uso de plaguicidas	6
		Erradicación manual de arvenses, algunas prácticas complementarias, controles mecánicos y baja aplicación de plaguicidas	3
		Erradicación química de arvenses, eliminación de hábitats, sin prácticas complementarias, controles mecánicos ni biológicos. Uso intensivo de plaguicidas	0

Fuente: elaboración propia.

El criterio final de las Prácticas de Manejo Agrícola (PMA) se evalúa promediando los valores de cada uno de sus cuatro indicadores, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$PMA = \frac{S + PS + A + MF}{4} \quad (18)$$

Los valores obtenidos (de 0 a 10) se interpretan de acuerdo con la Tabla 17.

Tabla 17. Descripción del criterio Prácticas de manejo agrícola (PMA), calculado como un promedio de los indicadores S, PS, A y MF.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de Manejo Agrícolas (PMA)	Prácticas de cultivo que benefician la agrobiodiversidad, en términos de semillas, preparación del suelo, abonamiento y manejo fitosanitario.	Sistemas cuyas prácticas de manejo favorecen altamente la agrobiodiversidad, generalmente ligados a sistemas de agricultura ecológica.	10
		Sistemas con prácticas de manejo que favorecen moderadamente la agrobiodiversidad, pero no realizan algunas de las prácticas y son generalmente ligados a sistemas de agricultura ecológica.	8
		Sistemas cuyas prácticas favorecen ligeramente la agrobiodiversidad, generalmente ligados a sistemas en transición.	6
		Sistemas que tienen algunas prácticas que favorecen la agrobiodiversidad, en procesos incipientes de transición.	3
		Sistemas cuyas prácticas no favorecen la agrobiodiversidad, generalmente ligados a sistemas convencionales.	0

Fuente: elaboración propia.

Las categorías de valor ubicadas entre 8 y 10 están ligadas a sistemas de agricultura ecológica que favorecen altamente la agrobiodiversidad. La categoría con valoración de 6 se refiere a sistemas en transición que favorecen moderadamente la agrobiodiversidad. La categoría con valoración de 3 se asocia a sistemas de transición incipiente que favorecen ligeramente la agrobiodiversidad. La categoría de valoración 0 representa a los sistemas convencionales.

Prácticas de Manejo Ganadero (PMg)

La ganadería constituye un eslabón importantísimo y fundamental en muchas regiones y su análisis, involuntariamente, ha sido relativamente invisibilizado en muchos estudios agroecológicos que se enfocan especialmente en asuntos de crecimiento y manejo de cultivos. Adicionalmente, en no pocas oportunidades, los agroecosistemas mayores incluyen al mismo tiempo ac-

tividades agrícolas y pecuarias, es decir, que en ellos coexisten extensiones dedicadas a determinados cultivos con áreas dedicadas a la ganadería (agroecosistemas menores). En algunas, incluso, se presentan procesos productivos alrededor de la cría de especies menores y de peces con fines de consumo y comercialización.

Las razas de ganado bovino, especialmente las derivadas de la especie *Bos taurus*, acompañaron los procesos de colonización española en América y especialmente en Colombia; desde ese momento, a mediados del siglo xvi, sus efectos no han dejado de sentirse en muchos compartimientos ecosistémicos y en no pocas expresiones culturales. Tales efectos han sido reconocidos por muchos investigadores en todo el mundo, tanto a nivel de suelos, aguas y biodiversidad en general, como en relación con distintos procesos culturales, que incluyen variables de modelos económicos (Wilson *et al.*, 2014; Baudron *et al.*, 2014; Abdalla *et al.*, 2018; Valencia *et al.*, 2019; Avellaneda-Torres *et al.*, 2020).

Parte de los profundos cambios que generó la introducción de estas especies y razas animales, se debieron a la tala de coberturas naturales de bosques o incluso a la sustitución de sabanas naturales que fueron reemplazadas por especies de gramíneas favorables a su desarrollo y crecimiento. Tales cambios, muchos de ellos drásticos, generaron presiones selectivas a favor de especies resistentes al pisoteo o de fácil diseminación a través del estiércol o resistentes al fuego, práctica muy común para el desmonte de coberturas densas. Ello se agravó a partir de 1850, cuando, en opinión de Yepes (2000) se inició la colonización de las tierras bajas y vertientes de Cundinamarca y Tolima con los pastos guinea (*Panicum maximum*) y pará (*Brachiaria mutica*), especies muy eficientes para detener la regeneración de los bosques.

A partir de allí, y durante todo el siglo xx, la ganadería se intensificó en todo el país hasta el punto en que en la actualidad la población bovina del país se estima que se cría en 623.794 predios aproximadamente con casi 27.234.027 de animales, principalmente en Antioquia (11,35%), Casanare (7,84%), Córdoba (7,84%), Meta (7,51%), Caquetá (6,97%), Santander (5,94%), Cesar (5,45%), Cundinamarca (5,32%), Magdalena (4,93%) y Bolívar (4,49%) (ICA, 2019).

Las consecuencias ambientales de este modelo de producción ganadera se dan en varios sentidos: del costado meramente ecosistémico, aquellas tierras planas, arables y con buena dotación de agua se subutilizan en el tipo de usos ganaderos extensivos que genera compactación y erosión de los suelos, mientras que en áreas con pendientes superiores al 12%, sus efectos se traducen en la aparición de calvas, terracetas y en el origen de muchos movimientos en masa (soliflucción).

La agrobiodiversidad, por su parte, resulta severamente impactada porque generalmente tales explotaciones pecuarias recurren a una sola especie de pasto y porque las condiciones de degradación edáfica no permiten la subsistencia de otras especies vegetales competidoras e incluso afecta la

supervivencia de muchos invertebrados del suelo (MacLaughlin y Mineau, 1995). Las mismas expresiones de diversidad del ganado se vieron truncadas por procesos de introgresión genética hacia las líneas madres europeas, cuando las razas criollas o “razas locales de transición” que se habían adaptado al trópico (el hartón del Valle del Cauca, el romosinuano de las sabanas cordobesas, el blanco orejinegro de la cordillera central o el chino santandereano), se cruzaron con animales originales de Europa.

Pero igualmente, desde el punto de vista cultural, la ganadería introducida al trópico colombiano ha originado múltiples efectos positivos y negativos que han sido estudiados por varios investigadores y reconocidos públicamente. Más allá de las ganancias que esta actividad le reporta a un sector de la población —que acumula capital a través de explotaciones intensivas e intensivas de sus hatos ganaderos—, persiste la apropiación de tierras como parte de este ejercicio económico y, en consecuencia, propicia condiciones de desigualdad y polarización de la sociedad colombiana. Por años, el latifundio ganadero representó a esa clase terrateniente que nunca comprendió con generosidad que la paz del país reposaba, justamente, en repartir la tierra abundante y fértil de los valles y llanuras colombianas.

En la misma línea, las prácticas pecuarias ligadas a estos hatos extensivos incorporan siempre el uso de sustancias químicas (drogas antiparasíticas, anabólicos, etc.) para el ganado con distintos efectos en la salud animal y humana, además de una idea universal de explotación en monocultivo con praderas abiertas de una única especie, con pocos o ningún árbol dentro de las extensas áreas de pastoreo, lo que revela relaciones de alejamiento de los propietarios con el bienestar animal. Como lo afirmaba León-Sicard (2014)

...la imagen de los amplios potreros con un solo árbol en la mitad, en donde se apiña el ganado en busca de sombra, no es producto de la imaginación popular sino de una manera distintiva de entender el mundo, de un modelo poco inteligente, importado de Europa y que nunca fue cuestionado por los profesionales o los propietarios pecuarios del país... (p. 97).

A este modelo hegemónico, nacido de la visión utilitarista de la tierra, se ha venido oponiendo otro modelo de tipo agroecológico que considera prioritario el bienestar animal, junto con la preservación y el uso sostenible de la agrobiodiversidad, la conservación de la buena calidad de suelos y aguas, y la ampliación de los servicios ecosistémicos que prestan los agroecosistemas pecuarios, sin olvidar, por supuesto, las legítimas ganancias económicas derivadas de ellas.

Estos modelos alternativos, conocidos ahora como *sistemas silvopastoriles agroecológicos*, provienen en su mayor parte del trabajo realizado por la fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), tal vez la institución privada de investigación en ganadería sostenible con mayores logros y reconocimientos en Colombia y, justo

es decirlo, en Latinoamérica. Parte del trabajo de esta entidad está compilado en el libro *Ganadería del futuro – investigación para el desarrollo*, publicado por Murgueitio (2009). De manera exhaustiva, 55 autores narran las ventajas que reportan estos sistemas silvopastoriles (otrota llamados intensivos, hoy agroecológicos), en aspectos tan diversos como la producción de leche y carne, el mejoramiento del bienestar animal, el entorno ecosistémico, pagos por servicios ambientales, uso de corredores ribereños, manejo de árboles maderables en tales sistemas, la preservación de fauna amenazada, sus efectos en la avifauna, la asimilación de carbono en los suelos, el agroturismo, la nutrición y salud animal, la calidad de pasturas, tratamientos alternativos de enfermedades en bovinos, acua-acupuntura y diversas experiencias en Brasil, Centroamérica y Colombia (Figura 20).

Otros trabajos conducidos por Murgueitio, Calle y su equipo del CIPAV (que se pueden consultar en la página de esa institución), revelan los efectos benéficos de la asociación de árboles en distintos estratos con pasturas y herbazales, sobre la calidad de suelos, aguas y alimentos (carne y leche), incrementos de biodiversidad y mitigación de impactos negativos en los ciclos hidrológicos, el bienestar animal e incluso sobre la misma productividad del hato ganadero.

En diferentes condiciones geográficas, altitudinales y ecosistémicas, la fundación CIPAV se ha constituido en un verdadero ejemplo de investigaciones aplicadas de alto impacto sobre el manejo animal, en un paradigma que comprende el uso de sistemas silvopastoriles intensivos agroecológicos, caracterizados por altas densidades de plantas forrajeras y pastos mejorados, bajo modelos de pastoreo rotacional con cercas eléctricas y abastecimiento continuo de agua a través de acueductos prediales (Murgueitio e Ibrahim, 2001). Estos sistemas producen carne en proporciones mayores a 10 veces frente a los sistemas convencionales de praderas en monocultivo y entre tres y ocho veces más leche por hectárea por año, con beneficios ambientales adicionales: disminución de la compactación de suelos, mejoramiento de su fertilidad vía incorporación de materia orgánica, aumento de actividades de escarabajos estercoleros, preservación de fuentes hídricas e incrementos notables de la biodiversidad asociada a estos sistemas (CIPAV, página web).

En otras latitudes también se han comprobado estas relaciones de manejo de los hatos ganaderos y de los patrones de coberturas circundantes con la biodiversidad de determinadas especies de insectos. Paradise *et al.* (2015) estudiaron coleópteros y hemípteros en fincas ganaderas en Carolina del Norte (Estados Unidos) para determinar los efectos del ganado y los patrones de uso de la tierra sobre la biodiversidad. Encontraron diferencias entre granjas a la altura del césped respecto de las densidades y la diversidad de varias familias de insectos relacionadas con el manejo, pero no con la densidad del ganado. Sin embargo, los patrones de cobertura del

suelo estaban relacionados con los patrones de diversidad de insectos, lo que sugiere que el mantenimiento de la biodiversidad no se ve afectado únicamente por las prácticas agrícolas en las fincas.

Las propuestas de manejo ganadero también incluyen su integración con los sistemas agrarios o agroforestales dentro de las mismas fincas. Al respecto Lemaire *et al.* (2014), listan las siguientes ventajas de la integración de los cultivos con los sistemas ganaderos:

- Mejor regulación de los ciclos biogeoquímicos y disminución de los flujos ambientales hacia la atmósfera y la hidrosfera a través de interacciones espaciales y temporales entre los diferentes sistemas de uso de la tierra.
- Mejoramiento de diversos hábitats y redes tróficas a través de un mosaico de paisajes más diversificado y estructurado.
- Mayor flexibilidad de todo el sistema para hacer frente a posibles riesgos y crisis socioeconómicas, provocadas por el cambio climático.

En el centro de esta revolución epistemológica que discute la visión de los sistemas ganaderos convencionales, se encuentran los principios filosóficos de mantener la vida en todas sus manifestaciones, en especial a través de considerar el hato ganadero no como una mercancía, sino como "...seres vivos e integrados al pulso general del agroecosistema mayor..." (León-Sicard, 2014 p. 336), lo que conduce a establecer y mantener, incluso, relaciones afectivas con los animales, propiciando un tipo de manejo encuadrado dentro de parámetros éticos que permiten, por un lado, mejoras en la calidad y cantidad de sus productos (leche, carne, huevos) y su vida útil; y por otra parte, generan una variedad de efectos positivos de tipo ambiental relacionados con la base de sustentación ecosistémica y con la calidad de vida de los ganaderos ecológicos (Chará y Murgueitio, 2005; Murgueitio, 2003, 2009; Murgueitio e Ibrahim, 2001; Murgueitio *et al.*, 2010, 2015, 2017; Valencia *et al.*, 2019; Baudron *et al.*, 2014).

En tal dirección, incluso en el manejo sanitario de ecto y endoparásitos, la medicina veterinaria alternativa utiliza métodos naturales a través de suplementación alimenticia con plantas desparasitantes ricas en metabolitos secundarios como taninos, lectinas o saponinas (*Lysiloma latisiliquum* o abey, *Havardia albicans* o cuisache, *Phytolacc icosandra* o cargamanta) o ricas en proteína (harina de soja, melazas, ensilados, henos, trébol rojo). Igualmente apela a lavados con sales (flor de azufre) y/o plantas repelentes (achiote, ajeno, artemisa, barbasco, borrachero), además de otros procedimientos de homeopatía, acupuntura, control biológico de moscas y parásitos gastrointestinales con escarabajos coprófagos, avispa parasitoides y hongos nematófagos (Murgueitio, *com. per.*)⁷.

Finalmente, y como ya lo advertía León-Sicard (2014),

⁷ María Mercedes Murgueitio, ecóloga, especialista en sistemas silvopastoriles intensivos y doctora por el Programa de Doctorado en Agroecología (PDA) de la Universidad de Antioquia (Colombia).

...el manejo animal en estos sistemas contempla, además, la inclusión de cuyes, aves, cerdos, gallinas, ovejas, camuros y peces, que también responden a manejos bajo una ética de cuidado animal... que van desde la preocupación por sus sitios de albergue y pastoreo pasando por la calidad de la alimentación que reciben, hasta procedimientos especiales en ordeño, sanidad animal y sacrificio (que el CIPAV ha vuelto realidad a través de corrales arbolados, para mejorar las condiciones de vida del ganado vacuno y caballar... (p. 338).

La anterior reflexión conduce a aceptar que, efectivamente, existen opciones de manejo ecológico o agroecológico de los agroecosistemas pecuarios y ello tiene implicaciones en la formulación de la EAP aplicada a este tipo de sistemas productivos. Para ello se proponen los siguientes indicadores y procedimientos, relativos a la medición del criterio PMg.

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir el criterio 7b: Prácticas de manejo ganadero (PMg)

El levantamiento de la información necesaria para evaluar este criterio es esencialmente similar al que se acaba de explicar para el criterio Prácticas de manejo agrícola (PMA), pues ella proviene de encuestas o entrevistas realizadas a los propietarios y administradores de las fincas, utilizando también técnicas de recopilación y análisis cualitativas como la observación participante, talleres o mapas conceptuales construidos conjuntamente con las comunidades.

En las Tablas 18, 19, 20, 21 y 22 se presentan las calificaciones otorgadas en este trabajo a cinco indicadores del criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg), que son: Preparación de Suelo (PS), Arreglo del Sistema (AS), Rotación de Potreros (RP), Manejo de Aguas (MA) y Manejo Sanitario (MS).

Tabla 18. Descriptores, evaluación y valores del indicador Preparación del suelo (PS) usado en el criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Preparación del suelo (PS)	Tipo de labranza, intensidad, abonos, fertilizantes o enmiendas, prácticas complementarias de conservación	Labranza reducida. Muy baja intensidad de laboreo, uso de enmiendas y abonos, con prácticas complementarias (asociación de forrajeras con cultivo acompañante o precedente (papa, arveja, maíz y/o frijol), aplicación de micorrizas, conservación de árboles grandes y palmas en los potreros.	10
		Labranza reducida. Baja intensidad de laboreo, uso de enmiendas y abonos, sin prácticas complementarias	8

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Preparación del suelo (PS)	Tipo de labranza, intensidad, abonos, fertilizantes o enmiendas, prácticas complementarias de conservación	Labranza reducida. Mediana intensidad de laboreo, fertilización química baja a media, con o sin prácticas complementarias	6
		Labranza convencional (arados, rastrillos, rastras). Alta intensidad de laboreo. Fertilización química media a alta, sin prácticas complementarias	3
		Labranza convencional. Muy alta intensidad de laboreo. Muy alta fertilización química, sin prácticas complementarias	0

Fuente: elaboración propia.



Figura 20. Sistema silvopastoral intensivo tipo CIPAV en la Finca El Hatico (El Cerrito, Valle del Cauca, Colombia). (*Fuente:* fotografía del autor).

Tabla 19. Descriptores, evaluación y valores del indicador Arreglo del sistema (AS) usado en el criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Arreglo del Sistema (AS)	Sistema silvopastoril, diversidad de gramíneas y leguminosas, árboles dispersos, bancos de germoplasma ⁸	Sistema silvopastoril intensivo (SSPi) con varios sistemas silvopastoriles adicionales. Alta diversidad de gramíneas forrajeras (cespitosas o estalóníferas) y leguminosas rastreras. Bancos mixtos.	10
		SSPi con uno o dos sistemas silvopastoriles adicionales. Alta diversidad de gramíneas forrajeras (dos o más de crecimiento cespitoso como estalónífero). Árboles o arbustos (para diferentes usos) dispersos en alta densidad. No se asocian especies leguminosas rastreras. Bancos mixtos.	8
		Sin SSPi u otro sistema silvopastoril. Media diversidad de gramíneas forrajeras. Combinación de dos o más gramíneas forrajeras sin importar el tipo de crecimiento, árboles y arbustos en baja densidad (<25 individuos·ha ⁻¹) pero en disposición linear. No hay bancos mixtos.	6
		Sin SSPi u otros sistemas silvopastoriles. Baja diversidad de gramíneas forrajeras; árboles y arbustos en baja densidad (<25 individuos·ha ⁻¹). Una sola especie de gramínea forrajera. Sin bancos mixtos.	3
		Sin SSPi u otros sistemas silvopastoriles. Muy baja diversidad de gramíneas forrajeras; sin árboles y arbustos. Una sola especie de gramínea en monocultivo. Los árboles han sido removidos en su totalidad de los potreros.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Descriptores, evaluación y valores del indicador Rotación de potreros (RP) usado en el criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Rotación de potreros (RP)	Sistema de pastoreo, tiempo, aforos.	Semiestabulado: los animales permanecen la mayor parte del tiempo confinados en comederos bajo techo. Periodos muy cortos de ocupación de potreros (horas al día). Aforos.	10
		Altamente rotativo en franjas o pequeños potreros, aislados con cerca eléctrica. Periodos de ocupación cortos (entre 1 o 2 días máximo). Aforos. El pasto se recupera rápidamente.	8

⁸ Aunque en la evaluación tradicional de tipo agroforestal se mencionan las cercas vivas y las cortinas rompevientos, en este cuadro no se incluyen porque su evaluación ya se realizó previamente en relación con los criterios de conectores internos y externos.

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Rotación de potreros (RP)	Sistema de pastoreo, tiempo, aforos.	Medianamente rotativo en potreros de tamaño medio, aislados por cerca eléctrica o cercas vivas. Periodos de ocupación medianos, entre 3 y 7 días. Se usan o no aforos. El pasto logra recuperarse.	6
		Poco rotativo en potreros de tamaño grande. Periodos largos de ocupación entre 8 y 30 días, aislados o no por cercas vivas. No aforos. El pasto no se alcanza a recuperar.	3
		Continuo en potreros de tamaño grande. Periodos de ocupación de más de 30 días. El pasto no se alcanza a recuperar.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Descriptores, evaluación y valores del indicador Manejo de aguas (MA) usado en el criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Manejo de aguas (MA)	Origen, transporte, almacenamiento y control de calidad.	Fuentes naturales (nacimientos, cañadas jagüeyes), acueductos ganaderos y frecuentes análisis físico-químicos. Disponibilidad y potabilidad total.	10
		Fuentes naturales (nacimientos, cañadas jagüeyes), acueductos ganaderos y pocos análisis físico-químicos. Disponibilidad total y potabilidad parcial.	8
		Reservorios artificiales (pozos, cosechas de agua, estanques), acueductos ganaderos y frecuentes análisis físico-químicos. Disponibilidad parcial y potabilidad total.	6
		Reservorios artificiales, transporte manual (mangueras) y muy pocos análisis físico-químicos. Disponibilidad y potabilidad parcial.	3
		Reservorios artificiales, transporte manual. No se realizan análisis físico-químicos. No existe ni disponibilidad ni potabilidad garantizada.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22. Descriptores, evaluación y valores del indicador Manejo sanitario (MS) usado en el criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Manejo sanitario (MS)	Métodos de control de parásitos.	El control de parásitos (ecto y endo) se basa en el uso de medicina veterinaria alternativa y otras prácticas (suplementos alimenticios con plantas desparasitantes, lavados con sales y/o plantas repelentes, homeopatía, acupuntura, control biológico de moscas y parásitos gastrointestinales con escarabajos coprófagos, avispas parasitoides y hongos nematófagos).	10
		El control de parásitos (ecto y endo) se basa en el uso de medicina veterinaria alternativa pero no se realizan otras prácticas.	8
		El control de parásitos (ecto y endo) se realiza mediante Buenas Prácticas Ganaderas y Manejo Integrado de Plagas, con sustancias químicas en dosis recomendadas.	6
		Se realizan algunas “buenas prácticas ganaderas” y “manejo integrado de plagas” con sustancias químicas en dosis superiores a las recomendadas.	3
		El control de parásitos (ecto y endo) se realiza únicamente con antihelmínticos, endotocidas y otras drogas sintéticas, en dosis muy superiores a las recomendadas.	0

Fuente: elaboración propia.

El criterio final de las Prácticas de manejo ganadero (PMg), se evalúa promediando los valores de cada uno de sus indicadores: Preparación del suelo (PS), Arreglo del sistema (AS); Rotación de potreros (RP); Manejo de aguas (MA) y Manejo sanitario (MS), de acuerdo con la siguiente expresión y con la Tabla 23, que indica su interpretación:

$$PMg = \frac{PS + AS + RP + MA + MS}{5} \quad (19)$$

Los indicadores están relacionados con los pasos o fases del cultivo pecuario en los que se realizan o no prácticas que favorecen la agrobiodiversidad. Estas prácticas están generalmente asociadas con sistemas silvopastoriles, de ganadería racional, holística o ecológica.

Las categorías de valor ubicadas entre 8 y 10 representan a sistemas de ganadería ecológica u orgánica que favorecen altamente la agrobiodiversidad. La categoría con valoración de 6 está ligada a sistemas en transición que

promueven moderadamente la agrobiodiversidad. La categoría con valoración de 3 se asocia con sistemas de transición incipiente que favorecen ligeramente la agrobiodiversidad. La categoría de valoración 0 son aquellos sistemas ganaderos convencionales.

Tabla 23. Descripción del criterio Prácticas de manejo ganadero (PMg) calculado como un promedio de los indicadores PS, AS, RP, MA y MS.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de manejo ganadero (PMg)		Sistemas cuyas prácticas de manejo favorecen altamente la agrobiodiversidad, generalmente ligados a sistemas de ganadería ecológica.	10
		Sistemas con prácticas de manejo que favorecen moderadamente la agrobiodiversidad, pero no realizan algunas de las prácticas y están generalmente asociados con sistemas de ganadería ecológica.	8
		Sistemas cuyas prácticas favorecen ligeramente la agrobiodiversidad, generalmente ligados a sistemas en transición.	6
		Sistemas que tienen algunas prácticas que favorecen la agrobiodiversidad, en procesos incipientes de transición.	3
		Sistemas cuyas prácticas no favorecen la agrobiodiversidad, generalmente ligados a sistemas ganaderos convencionales.	0

Fuente: elaboración propia.

Criterio 8: prácticas de conservación (PRC)

La introducción de este criterio representa una importante modificación de la metodología que se empleó en varios estudios anteriores de aplicación de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores (EAP), que lo había reducido solamente a unos enunciados débiles en dos o tres de los criterios utilizados. Sin embargo, este criterio cobra mucha importancia a la luz del manejo mismo del agroecosistema, más allá de los fines productivos que caracterizan a muchos negocios agropecuarios.

Conservar significa muchas cosas: desde mantener los bienes naturales para diversificar y aprovechar sus ofertas de materias tangibles (leña, madera, gomas, resinas, flores, medicinas) y servicios intangibles (recreación,

estética, tradiciones, ritos, costumbres) hasta preservar para estudiar, para entender ciclos y procesos naturales con fines personales o colectivos (educación). Pero conservar también significa equilibrar y resistir. Así, hay abundante evidencia que muestra los beneficios que trae la conservación de coberturas, de los materiales edáficos y la cantidad y calidad de los cuerpos de agua en aspectos claves de la resiliencia al cambio y a la variabilidad climática o de sus aportes a la seguridad, soberanía y autonomía alimentarias.

Muchos son los estudios realizados en el mundo que demuestran los beneficios de la conservación de suelos, ya sea por actividades físicas, manuales, bióticas o relacionadas con las mismas prácticas agronómicas de cultivo. Ejemplos de ello son los trabajos de Reicosky y Forcella (1998) en relación con coberturas de suelos y sus interacciones con la calidad edáfica; las investigaciones de Uri (2001) sobre las prácticas de conservación y sus relaciones con la asimilación de carbono edáfico y sus consiguientes efectos en el cambio climático; el trabajo de Kassa *et al.* (2017) sobre las relaciones entre la silvicultura, la fertilidad edáfica y la emisión de gases de efecto invernadero en Etiopía; los trabajos de Blango *et al.* (2019) sobre los efectos combinados de prácticas de manejo de suelos y de aguas en la ecología de áreas pantanosas y en la productividad del arroz en Ghana; o el estudio de Cardinael *et al.* (2017) que relaciona los *stocks* de carbono con prácticas de conservación de suelos a través de sistemas agroforestales, por citar solo unos pocos estudios.

Pero conservar y resistir también son vocablos que se aplican al mundo cultural, incluso en relación con la biodiversidad. Conservar, por ejemplo, semillas ancestrales, es un ejercicio que no depende solamente del entorno material o biofísico, sino también de la transmisión oral de los conocimientos, de los ritos que se realizan alrededor del alimento, de los roles de género y de los significados que le otorgan las comunidades a plantas y animales, como símbolos de identidad, como maneras de habitar la tierra.

En este sentido vale la pena resaltar en este documento los importantes trabajos desarrollados por Clavijo *et al.* (2012), Clavijo y Pérez (2014) y Clavijo (2018, 2019), en relación con la recuperación de la identidad y otros elementos simbólicos que se tejen alrededor de los tubérculos andinos (ullucos, hibas y cubios) en el sur y centro de Colombia. Las investigaciones y acciones comunitarias de varios años implementadas por el equipo que lidera esta investigadora, lograron demostrar que los tubérculos andinos no pueden ser considerados como cultivos descuidados, abandonados, marginales o subutilizados, como usualmente los presentan varias agencias internacionales, entre ellas la FAO (1992, 2017). Por el contrario, este grupo de investigación demuestra que se trata de cultivos supervivientes y persistentes, que lograron superar varias etapas históricas en los que se le invisibilizó, pero que siguieron siendo utilizados, debido a su inserción en una compleja red de relaciones simbólicas, sociales, económicas, políticas y tecnológicas. Tal complejo de relaciones, en

las condiciones geográficas y ecosistémicas propias de estas comunidades altoandinas del trópico americano, generó implicaciones significativas en sus prácticas de cultivo e intercambios (trueques), en la conservación de múltiples morfotipos, y en la consolidación de un sistema organizativo que les permite constituirse en elementos claves de la seguridad, soberanía y autonomía alimentarias de estas comunidades.

Por lo tanto, la introducción de prácticas de conservación de suelos, aguas y biodiversidad no constituye un proceso simple, ligado meramente a aplicaciones tecnológicas. Ello exige un entorno social, económico, político e histórico apropiado y demandan al productor una serie de conocimientos y habilidades, así como un mayor nivel de conciencia ambiental reflejada en las preocupaciones, tanto por su propiedad, como por sus propias relaciones de vecindad y por los efectos que tienen sus prácticas en entornos más inmediatos a nivel de vereda, zona, territorio o cuenca hidrográfica. Por supuesto que la implementación o no de prácticas de conservación de aguas influirá en su manejo en las escalas menores de municipio, región, país e incluso a escala continental.

En este sentido, Iglesias y Garrote (2015), después de revisar más de 168 publicaciones publicadas sobre el tema en los últimos tres lustros, caracterizaron las ventajas y desventajas de una serie de medidas agronómicas y políticas de adaptación al cambio climático relacionadas con la conservación de aguas y señalan, en sus conclusiones, la necesidad de modernizar la política actual del agua, junto con la capacitación adecuada para los agricultores y la generación de instrumentos financieros viables que garanticen la sostenibilidad del uso del líquido en el espacio europeo.

Por otro lado, colocar a este criterio de conservación PRC dentro de los 10 criterios de la EAP se justifica en la medida en que las expresiones de cuidado, mantenimiento y uso de los bienes naturales hacen parte íntima del agroecosistema y explican significativamente su actual estructura; es decir, la conservación posee correlatos fácticos en el agroecosistema. Ejemplo de estos correlatos pueden ser los nacimientos de agua preservados con manchas de bosques al interior de las fincas, el aumento de la biodiversidad edáfica y la conservación de suelos por medio de siembras de especies aptas para combatir la erosión (por ejemplo, franjas de vetiver) o el cuidado y difusión gratuita de semillas ancestrales.

En ese mismo sentido, la ausencia de evidencias de erosión de los suelos, ya sea de tipo laminar o en surcos (y más aún, en terracetos o en cárcavas), puede tomarse igualmente como un síntoma exterior o correlato de las prácticas de conservación que aplican los agricultores en toda su finca.

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para medir el criterio 8: Prácticas de conservación (PC)

No obstante, existen algunas dificultades metodológicas para separar los indicadores que expresan este criterio PC de otros indicadores ya expuestos en estas páginas y que miden criterios como los de las Prácticas de manejo agrícola (PMA) y pecuario (PMg) e incluso los mismos criterios de conectividad ya expuestos. Por ejemplo, si un productor deja intencionalmente que crezca y se reproduzca un barbecho hasta convertirse en un bosque secundario, este bosque ya está contabilizado en el criterio Diversidad de los Conectores Internos (DCI). Si otro agricultor propone utilizar caldos microbianos para aumentar la diversidad edáfica, este indicador pudo ya haberse valorado dentro de las prácticas ecológicas que favorecen la agrobiodiversidad.

Por lo tanto, los indicadores que se proponen pueden traslaparse con algunos ya incluidos en el cálculo de la EAP y será el criterio del investigador el que decida en dónde incluye unos u otros.

Para este criterio se han seleccionado tres indicadores: Prácticas de conservación de suelos (PCS), Prácticas de conservación de aguas (PCA) y Prácticas de conservación de la biodiversidad (PCB), los cuales se evalúan de acuerdo con las Tablas 24, 25 y 26.

Tabla 24. Descriptores, evaluación y valores del indicador Prácticas de conservación de suelos (PCS).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de conservación de suelos (PCS)	Métodos de control de erosión, aumento de la fertilidad, sistemas de riego	Erosión débil (laminar) o sin evidencias en el 90 -100% de la superficie de la finca. Uso de por lo menos tres o más métodos de control de erosión (zanjas de desviación, andenes, terrazas, coberturas muertas, residuos de cosechas, protección de taludes). Análisis periódicos de suelos. Uso adecuado de materiales orgánicos. Riego controlado.	10
		Erosión débil a ligera (laminar) entre el 70 - 89% de la superficie de la finca. Uso de dos o tres métodos de control de erosión. Análisis anuales de suelos. Uso adecuado de materia orgánica. Riego controlado.	8
		Erosión ligera a moderada (laminar, surcos) entre el 50 - 69% de la superficie de la finca. Uso de por lo menos un método de control de erosión. Análisis ocasionales de suelos. Poco uso de materia orgánica. Riego controlado.	6

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de conservación de suelos (PCS)	Métodos de control de erosión, aumento de la fertilidad, sistemas de riego	Erosión fuerte (laminar, surcos, calvas, soliflucción) en el 30 - 59% de la superficie de la finca. No usa métodos de control de erosión o análisis de suelos. Bajo uso de materia orgánica. Riego inadecuado.	3
		Erosión fuerte a severa (laminar, surcos, calvas, cárcavas, soliflucción) en más del 60% de la superficie de la finca. No usa métodos de control de erosión, análisis de suelos o materia orgánica. Riego inadecuado.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25. Descriptores, evaluación y valores del indicador Prácticas de conservación de aguas (PCA).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de Conservación de Aguas (PCA)		Posee todos los nacaderos, sitios de recarga y rondas de quebradas, ríos y cuerpos de agua protegidos con vegetación natural, realiza prácticas complementarias (cosechas de agua, reciclaje, zanjas de desviación, jagüeyes, pozos, reservorios), utiliza balances hídricos y análisis periódicos de calidad (conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, pH, temperatura, sólidos suspendidos (coliformes), oxígeno disuelto, N y P total). No hace vertimientos contaminantes.	10
	Protección de nacaderos, cosecha y reciclaje de aguas, balances hídricos, análisis de calidad.	Posee todos los nacaderos protegidos con vegetación natural, realiza algunas prácticas complementarias, utiliza balances hídricos, pero no análisis periódicos de calidad o viceversa. No hace vertimientos contaminantes.	8
	Vertimientos.	Posee algunos nacaderos protegidos con vegetación natural, realiza pocas prácticas complementarias, no utiliza balances hídricos ni análisis periódicos de calidad. No hace vertimientos contaminantes.	6
		Ningún nacedero protegido con vegetación natural, realiza alguna práctica complementaria. No utiliza balances hídricos ni análisis periódicos de calidad. Realiza vertimientos contaminantes.	3
		Ningún nacedero protegido, no realiza prácticas complementarias ni utiliza balances hídricos ni análisis periódicos de calidad. Realiza vertimientos contaminantes.	0

Tabla 26. Descriptores, evaluación y valores del indicador Prácticas de conservación de la biodiversidad (PCB).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de Conservación de la biodiversidad (PCB)	Reforestación, revegetalización, mantenimiento y enriquecimiento de hábitats, integración con protección de especies animales.	Evidencias de seis de las siguientes prácticas: reforestación con especies nativas, manejo de otras coberturas para recuperación natural, introducción intencional de especies nativas (plantas con flores, plantas – trampa – usos varios), uso de plantas aromáticas y medicinales, protección de hábitats para diversas especies animales (pájaros, mamíferos, peces), bancos de germoplasma.	10
		Evidencias de cuatro a cinco de las prácticas mencionadas	8
		Evidencias de dos a tres de las prácticas mencionadas	6
		Evidencias de por lo menos una de las prácticas mencionadas	3
		No se utiliza ninguna práctica de conservación de la biodiversidad.	0

Fuente: elaboración propia.

El criterio final de las Prácticas de conservación (PRC) se evalúa promediando los valores de cada uno de sus indicadores: Prácticas de conservación de suelos (PCS), Prácticas de conservación de aguas (PCA) y Prácticas de conservación de la biodiversidad (PCB), de acuerdo con la siguiente expresión. Su interpretación se presenta en la Tabla 27.

$$PRC = \frac{PCS + PCA + PCB}{3} \quad (20)$$

Tabla 27. Descripción del criterio Prácticas de conservación (PRC) calculado como un promedio de los indicadores PCS, PCA y PCB.

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de Conservación (PRC)	Prácticas de manejo y conservación de suelos, aguas y biodiversidad	Sistemas que incluyen entre 13 o más prácticas favorables a la conservación de suelos, aguas y biodiversidad, generalmente ligados a alguna categoría reconocida conservación.	10

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de Conservación (PRC)	Prácticas de manejo y conservación de suelos, aguas y biodiversidad	Sistemas que incluyen entre 9 y 12 prácticas favorables a la conservación de suelos, aguas y biodiversidad.	8
		Sistemas que incluyen entre 4 y 8 prácticas que favorecen la conservación de suelos, aguas y biodiversidad.	6
		Sistemas que incluyen menos de 3 prácticas favorables a la conservación de suelos, aguas y biodiversidad.	3
		Sistemas que no incluyen prácticas favorables a la conservación de suelos, aguas y biodiversidad, generalmente ligados a sistemas convencionales.	0

Criterio 9: percepción-conciencia-conocimiento (CON)

Indudablemente que todas las acciones de los propietarios que se dirigen a procesos de conservación de aguas, suelos y biodiversidad, al igual que aquellas relacionadas con el uso de prácticas de manejo agroecológico de las fincas, pasan por decisiones particulares relacionadas, a su vez, con motivaciones, ideas, sensaciones y deseos nacidos de las propias experiencias de vida de cada actor individual.

Sin entrar a debatir los postulados teóricos que subyacen a estos procesos de los individuos —y sin establecer una escala jerárquica de los complejos eslabones psicológicos y cognitivos atinentes a la percepción de los fenómenos, su internalización y el grado de comprensión de la realidad que ello genera—, sí es posible admitir que ellos se sitúan en la base del comportamiento humano, en este caso, en relación con el uso de la agrobiodiversidad.

En efecto, la inclinación personal a valorar la belleza, a sentirse profundamente impresionado por la variedad de mecanismos naturales de reproducción o de conductas vitales de las especies animales o vegetales o el dejarse solamente asombrar por los fenómenos que animan permanentemente la vida, son los resortes profundos que explican mayoritariamente las decisiones de cada agricultor, de cada mujer campesina, de cada emprendedora, de cada estudiante, de cada empresario agrícola, de cada comerciante o de cada consumidor, para afiliarse a este mundo sin partidos políticos ni diferencias de raza o de género, en la defensa de la vida y, en consecuencia, de la promoción de la agrobiodiversidad.

No menos cierto es que tales inclinaciones personales se modulan, perfeccionan o crecen al tenor de las aspiraciones, recorridos históricos y entornos

culturales en que viven los individuos. La constelación de tales factores complejos, puede entenderse mejor a la luz de los postulados que realizan Toledo y Barrera-Bassols (2008) sobre tales aspectos culturales y el origen, acumulación y transmisión de conocimientos en comunidades tradicionales, con relación al uso y manejo de la biodiversidad.

En muchas culturas diseminadas a lo largo del planeta se amalgaman las visiones particulares y los entornos culturales alrededor de conocimientos y prácticas profundamente arraigados en creencias, mitos y representaciones cosmológicas vinculadas estrechamente a las condiciones ecosistémicas en que se originan y desarrollan, lo cual puede expresarse a nivel de predios, parcelas, territorios y regiones más o menos amplias, más o menos definidas.

Un ejemplo de esta complejidad de relaciones entre humanos y ecosistemas para el desarrollo de la agricultura, utilizando estrategias sostenibles de gestión de recursos naturales para mejorar los medios de vida en un paisaje cultural, lo ofrece la tribu Apatani en el noreste de la India que reúne, tanto el gobierno colectivo de la aldea, la convivencia, los rituales y la combinación de estrategias agrarias de distintos cultivos de crecimiento tardío o temprano y la piscicultura, lo que genera agroecosistemas de alta eficiencia ecológica y económica, generadores de altos grados de autosuficiencia para la comunidad. La gestión integrada de recursos por parte de los Apatanis podría ser un modelo a imitar para cualquier sociedad (Sundriyal y Dollo, 2013). Torquebiau *et al.* (2012) presentan un caso similar en la comunidad de KwaZulu-Natal en Suráfrica.

Como lo señalaba León-Sicard (2014)

la raíz misma de la concepción del territorio comienza y se expande a partir del propio cuerpo y de la propia casa y por lo tanto, existen lazos profundos que unen las cosmovisiones, los conocimientos y las cualidades del territorio (el suelo-tierra) con los demás seres no humanos y todos ellos con las formas de transformación material, con las herramientas, con la praxis. El resultado de esta integración es el manejo adecuado del mundo, dentro de las exigencias y requerimientos impuestos por las propias dinámicas poblacionales, por las necesidades culturales de apropiación y de distribución de bienes materiales que garantizan la supervivencia del grupo, de la comunidad. Los conocimientos individuales hacen parte de la sabiduría que le permite sobrevivir a la comunidad (p. 366).

Podemos agregar, sin temor a equivocaciones, que tales inclinaciones personales y colectivas están en la actualidad mediadas, por el carácter particularmente depredador e injusto del modelo dominante de agricultura que ha generado varios tipos de externalidades, algunas de ellas sumamente graves para los equilibrios que requiere la vida misma.

En efecto, tal como lo anunciaba ya a finales del siglo xx el maestro Augusto Ángel Maya en su extensa literatura, los procesos tecnológicos desencadenados por la ciencia positiva en sus aplicaciones agrarias, estaban originando

problemas relacionados, tanto con los abastecimientos de alimentos, como con desequilibrios ecosistémicos que ya se sentían en aquella época a nivel planetario. La contaminación de suelos y aguas, las pérdidas de biodiversidad a muchas escalas y el cambio climático, entre otros efectos, hicieron mella en la conciencia de mujeres y hombres que se vieron abocados a proponer nuevas formas de relacionamiento con el resto del mundo natural, so pena de asistir a lo que Ángel denominó “la némesis de la naturaleza”.

La conciencia ambiental, relacionada con estos fenómenos degradativos de los ecosistemas también posee implicaciones éticas y estéticas, como planteamiento filosófico esencial inherente a las maneras de habitar el mundo.

Al respecto, Noguera (2004) expresa abiertamente las contradicciones explícitas de la modernidad en los modelos de una ciencia positiva sin alma. En sus propias palabras:

No podemos esperar que la transformación radical de un ethos cultural, basado en la explotación inmisericorde de los bienes de la tierra y de los seres humanos sometidos y desposeídos, se transforme en un ethos cultural respetuoso y solidario con la trama de la vida, gracias a una decisión solamente política, tecnológica o económica. Los intereses que se mueven alrededor de los bienes de la tierra y de la fuerza de trabajo de los seres humanos son tan complejos y de tal nivel de egoísmo, que es muy difícil pensar en una transformación de nuestra sociedad altamente ególatra y dominante, en una sociedad ambiental... (p. 18).

y,

La poetización del mundo, su reencantamiento, exige entonces un acallamiento de los discursos sofocantes de las grandes teorías científicas, de las racionalidades excluyentes y omniabarcantes; exige dejar que la voz misteriosa del mundo como vida, como ser en despliegue, como perpetua aurora y crepúsculo, pueda ser escuchada... (p. 22).

Los ejemplos de una tal rebeldía, de una tal crítica hacia la visión homogeneizante de la vida y de su reducción a meros procesos de intercambio de capitales se encuentran por todas partes del mundo, bajo la forma de experiencias individuales o en procesos comunitarios de mayor envergadura. Desde las chinampas mexicanas y los sistemas Waru–Waru de Perú y Bolivia, los sistemas tradicionales agropastoriles de los campesinos ubicados en los Alpes Suizos y los sistemas agroforestales de Indonesia, hasta los sistemas de los Hausa en Nigeria y de los Mossi de Burkina Faso y las experiencias de las agricultoras de hortalizas ecológicas en la altiplanicie bogotana, todas ellas recogen la resistencia de millones de seres humanos que se han apercebido del brutal significado de una agricultura sin corazón y sin alma, y han dedicado sus mejores esfuerzos a construir una sociedad solidaria con y amante de la vida misma, en todas sus expresiones.

Se trata, entonces, de una reivindicación de la espiritualidad, de la simbiosis conocimiento y sabiduría, y de la integración de los conceptos *kosmos* o creencias – *corpus* o conocimientos – *praxis* o prácticas productivas (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). En términos de León-Sicard (2014)

... esta es una tarea de mayor envergadura que cualifica y difunde los sistemas de agricultura alternativa como paradigmas de lo que hay que hacer desde el punto de vista ético-estético, de lo que debe incluirse ahora mismo en las políticas públicas y de lo que se debe oponer al paso arrasador de las agriculturas homogeneizantes de la Revolución Verde y de las nuevas transformaciones biotecnológicas del campo (p. 369).

Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para estimar el criterio 9: Percepción-conciencia-conocimiento (CON)

Estimar estas cualidades no es una tarea fácil porque son procesos intangibles, personales o colectivos, y están recubiertos de capas simbólicas complejas. Sin embargo, en aras precisamente de valorar su importancia como eje y resorte de todos los comportamientos individuales y comunitarios en relación con el uso y conservación de la agrobiodiversidad, para cuantificar este criterio se propone utilizar, algunos indicadores formales que ayuden a entender tales relaciones.

Estos indicadores se refieren a las categorías *grado de claridad conceptual, importancia y beneficios* que las personas puedan describir en relación con los elementos de agrobiodiversidad en sus propias fincas y que puedan explicar satisfactoriamente, dentro del marco restringido que ofrecen algunas técnicas de recolección de información usualmente utilizadas en este tipo de estudios (entrevistas semiestructuradas, encuestas).

Esta restricción se debe recalcar. Generalmente los investigadores que visitan fincas (en desarrollo de sus trabajos profesionales o investigativos) para establecer tal o cual grado de comprensión sobre sus funcionamientos o sus implicaciones en distintas materias académicas o de política social, económica o ambiental, casi no disponen del tiempo necesario para establecer lazos fuertes de confianza con los propietarios agricultores y ello incide en la calidad de la información colectada.

Muchas veces, los entrevistados no están dispuestos (por múltiples razones) a ofrecer sus puntos de vista sobre determinados asuntos a entrevistadores foráneos. En algunas regiones, incluso, hay resistencia a albergar académicos porque la gente se ha cansado de recibir vistas de estudiantes o profesores ávidos de información que no les representa beneficio alguno.

De otra parte, las humanidades han aportado múltiples aproximaciones metodológicas para sintetizar y extraer información confiable a partir de

las técnicas tradicionales de recolección de información en campo, que se traducen en diferentes opciones (análisis del discurso, teoría fundamentada), capaces de interpretar y formalizar una realidad social de manera confiable y rigurosa.

Estos y otros obstáculos bien conocidos por quienes han realizado este tipo de trabajos (inaccesibilidad del sitio, inseguridad física, eventos de orden público, escaso tiempo disponible, ausencia o presencia de estímulos, empatías personales, etc.) implican restricciones de distinto grado en la consecución y en la calidad de la información. Aun así, es necesario incluir este criterio porque se trata de las percepciones personales y de los niveles de conocimiento y conciencia ambiental que influyen en las prácticas de utilización de la agrobiodiversidad y, por lo tanto, en la implementación o no de la EAP (lo cual se asimila al *móvil interior*). En la Tabla 28 se consignan las categorías de evaluación de este criterio obtenidas, como ya se indicó, mediante entrevistas a profundidad, encuestas semiestructuradas, observación participante u otros procesos, instrumentos o técnicas de acopio de información cualitativa.

Tabla 28. Descripción del criterio Percepción-Conciencia-Conocimiento (CON).

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Percepción- Conciencia- Conocimiento (CON)	Importancia, beneficios y claridad conceptual.	Alto grado de conciencia ambiental y conocimiento del rol de la biodiversidad: los propietarios y/o administradores de la finca expresan la importancia y los beneficios que perciben de la biodiversidad en sus agroecosistemas. Además, han adquirido conocimiento sobre las funciones de la agrobiodiversidad, bien sea por formación o experiencia	10
		Alto grado de conciencia ambiental y moderado conocimiento del rol de la biodiversidad	8
		Moderado grado de conciencia ambiental y moderado conocimiento del rol de la biodiversidad	6
		Moderado grado de conciencia ambiental y desconocimiento del rol de la biodiversidad	3
		Bajo grado de conciencia ambiental y desconocimiento del rol de la biodiversidad.	0

Fuente: elaboración propia.

Criterio 10: capacidad de acción (CA)

Este último criterio se relaciona con todas aquellas variables de tipo social, económico o político que inciden directamente en la posibilidad o no de establecer, en la práctica, la EAP. Tal posibilidad está mediada por varios elementos del orden organizacional de las sociedades agrarias y se refiere, en concreto, a las distintas opciones financieras, logísticas, de gestión, asistencia técnica y capacitación (educación) que posean los diferentes actores para establecer fuertes estructuras agroecológicas en sus predios.

Determinar este criterio es una tarea muy difícil porque en él confluyen muchos factores complejos de distinta índole económica, social, política y de gestión. Es posible, afirma León-Sicard (2014), que muchos agricultores posean el conocimiento necesario sobre los beneficios que generan los agroecosistemas mayores con abundante agrobiodiversidad y alta conectividad entre sus distintos corredores, parches o áreas productivas y que, adicionalmente, tengan toda la intención de sembrar arvenses o distintas especies arbóreas en sus cercas; no obstante, es probable que enfrenten limitaciones, ya sea por el poco espacio disponible en sus fincas, por dificultades en el transporte local, por el exceso de trabajo que sobrepasa sus capacidades, por carencias de dinero o porque no poseen los conocimientos suficientes para decidir sobre la siembra apropiada de aquellas especies vegetales que se relacionan con los objetivos de sus actividades productivas.

En este sentido, en un trabajo de percepción sobre el conocimiento, actitudes y acciones de los productores de ovejas y carne de Nueva Zelanda hacia la biodiversidad, Meadows (2012) indica que, aunque los granjeros consideraban a las aves como componentes de un sistema complejo más grande y su presencia como evidencia de un ambiente de granja sano y robusto, su disposición para asumir la responsabilidad de generar mejores ambientes propicios para las aves, estaba vinculada a las limitaciones financieras de hacerlo. El autor sugirió sistemas de acreditación de mercado como el mecanismo más probable a través del cual se podrían introducir medidas de conservación de la biodiversidad. Consideraciones similares sobre la complejidad de los factores que interactúan en el manejo y conservación de la agrobiodiversidad fueron señaladas por de Boef *et al.* (2012).

Pero también es posible que los factores limitantes o potencializadores se encuentren en la educación recibida (o no) por los actores respecto de la resiliencia al cambio climático, o porque los accesos a las fincas sean demasiado difíciles por el estado de las vías, o por la lejanía de los viveros proveedores de plantas, o porque no se conocen muy bien los roles de ciertas especies benéficas que se desea instalar en los agroecosistemas, o porque los propietarios sean una pareja de adultos mayores con pocas energías para realizar estos trabajos. En fin... una constelación de factores intervinientes.

Para adelantarse en algo a las críticas que seguramente provoca la aspiración de condensar, en un solo valor unitario, toda la gama de limitantes y potencializadores que afectan la posibilidad de establecer coberturas vegetales o, si se quiere, de incrementar la agrobiodiversidad de las fincas vía distintas acciones de reforestación, siembra de cercas vivas, inclusión de policultivos, establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles, o manejo de cuerpos de agua (en pocas palabras, fortalecimiento de la EAP), se pueden exponer algunas razones de esta decisión:

En primer lugar, todo el bagaje simbólico de una comunidad o de un agricultor particular (discutida en el ítem anterior como elementos de percepción, conciencia y conocimiento), se materializa en la decisión de incrementar la agrobiodiversidad y esta decisión es función, a su vez, de las oportunidades económicas, financieras o de otra índole que posean los actores interesados. Omitir estas variables sería equivalente a sesgar completamente el análisis, toda vez que quedarían muchos interrogantes sobre la real capacidad de los productores o las productoras para transformar deliberadamente sus espacios de trabajo y de vida. Sería renunciar a las explicaciones culturales.

Por otra parte, una escala interpretativa de 1 a 0 en este criterio complejo puede resultar demasiado débil a los ojos de la crítica —que puede tener razón—, pero también puede reflejar, con mayor o menor exactitud, esas condiciones reales de los campesinos o agricultoras para enfrentar el reto de diversificar. En otras palabras, la evaluación de la capacidad de acción (CA) pasa por ser un criterio explicativo de esa sola y única característica: materializar, sembrar, incluir o dejar crecer plantas acompañantes, biodiversidad auxiliar o biodiversidad funcional, como la llaman distintos académicos. Y ello bien cabe en una sola expresión.

En tercer lugar, esta capacidad bien pudiera ser aquella de la agricultura natural, la de “no hacer haciendo” de Masonubu Fukuoka o de dejarle el paso a la revegetalización espontánea. Aun así, tales decisiones requieren compromisos que interpelan también a las capacidades organizativas de la finca y a variables de índole económica. Pero en la mayoría de las ocasiones, estos incrementos de agrobiodiversidad —es decir, de aumento de la EAP—, tienen lugar en relación con la compra, transporte y establecimiento de plantas de distintas naturalezas y funciones, usualmente ligadas las capacidades de educación, asesoramiento, organización, equipamiento, infraestructura, financieras y económicas, en cada situación particular.

Finalmente, la inclusión del criterio Capacidad para la acción (CA), posee un componente pedagógico, debatible en distintos auditorios, que lleva siempre el mensaje de las limitaciones sociales o económicas de una región determinada, aumentando los alcances de la EAP. Es decir, ya que esta capacidad está determinada por variables financieras, económicas o de capacitación-educación, siempre será propicia para debatir en público las condiciones

históricas de un agricultor o de una comunidad en particular, a la luz de las políticas públicas o del acompañamiento estatal. Esta situación justifica por sí misma la inclusión de este criterio en el índice EAP.

Como ya se indicó, otros aspectos relacionados con la ausencia de capacitación en temas de silvicultura y agricultura ecológica, que pueden generar un diálogo apropiado entre productores y técnicos para seleccionar y cuidar las plantas que se utilizarán en las cercas vivas, en los setos internos con flores o en los bancos de germoplasma, en relación con las características edáficas de las fincas y con las mismas oportunidades de crédito ofrecidas por el Estado, pueden incidir en el tiempo para establecer una EAP funcional y completa.

Con la mente puesta en las discusiones a favor y en contra de incluir este criterio en la evaluación de la EAP, es necesario afirmar que la CA es solamente un estimador general de la capacidad de los agricultores para generar procesos de conectividad interna de sus fincas y que ello no reemplaza el análisis global de otros elementos que pueden y deben ser abordados en la medida en que cada investigación lo disponga en sus propios objetivos. La apreciación anterior nos remite nuevamente a los límites de la EAP, que no pretende reemplazar otros necesarios análisis relacionados con variables culturales como por ejemplo, aquellos que abordan la seguridad, soberanía o autonomía alimentaria, o las discusiones territoriales o los conflictos alrededor de la tenencia de la tierra.

Ahora bien, este criterio debe ir necesariamente acompañado de varios indicadores que fortalezcan el análisis y que respondan a la crítica fundamental del porqué se pretende “encerrar” esta complejidad en un solo dígito. Tales indicadores deberían abordar los principales elementos potenciadores o limitantes de la acción última que se está evaluando: el fortalecimiento de la EAP.

*Indicadores seleccionados y procedimientos sugeridos para estimar el criterio 10:
Capacidad de acción (CA)*

En consideración con lo expuesto, en esta obra se ha considerado necesario incluir cuatro indicadores que ayudan a valorar el criterio de Capacidad para la acción (CA). Estos son: Capacidad económica y financiera (CEF), Capacidad logística (CL), Capacidad de gestión (CG) y Acceso a asistencia técnica agroecológica (AATA). En las Tablas 29, 30 y 31 se presentan las categorías de evaluación y valoración de cada uno de estos indicadores.

Tabla 29. Descriptores, evaluación y valores del indicador Capacidad económica y financiera (CEF).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Capacidad Económica y Financiera (CEF)	Ingresos, ahorros, capacidad de crédito y acceso a programas de apoyo	Muy alta capacidad financiera: se cuenta con ingresos económicos y ahorros de dinero, destinado a compra de insumos, materiales y especies destinadas a fortalecer coberturas, acceso a créditos destinados a conservación (rondas, bosques, suelos, entre otros) y acceso a programas de apoyo a procesos de conservación de coberturas en agroecosistemas (PSA, apoyo de ONGS, entre otras).	10
		Alta capacidad financiera: se cuenta con tres de las cuatro fuentes de financiamiento direccionadas a procesos de mejoramiento de coberturas	8
		Media capacidad financiera: se cuenta con dos de las cuatro fuentes de financiamiento direccionados a procesos de mejoramiento de coberturas.	6
		Baja capacidad financiera: cuenta con una fuente de financiamiento.	3
		Muy baja capacidad financiera: no cuenta con ninguna fuente interna o externa de financiamiento.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 30. Descriptores, evaluación y valores del indicador Capacidad logística (CL).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Capacidad logística (CL)	Mano de obra, acceso, medios de transporte, infraestructura	Muy alta capacidad logística: mano de obra disponible constantemente, buenas vías de acceso, disponibilidad de medios de transporte, pose herramientas y equipos para establecer y mantener coberturas y en las cercanías hay viveros con alta oferta de plantas diversas	10
		Alta capacidad logística: cuenta con tres de las condiciones logísticas necesarias para el establecimiento y mantenimiento de coberturas	8
		Media capacidad logística: cuenta con dos de las condiciones logísticas necesarias para el establecimiento y mantenimiento de coberturas	6

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Capacidad logística (CL)	Mano de obra, acceso, medios de transporte, infraestructura	Baja capacidad logística: solo cuenta con una de las condiciones logísticas necesarias para el establecimiento y mantenimiento de coberturas	3
		Muy baja capacidad logística: no posee condiciones logísticas suficientes para el establecimiento y mantenimiento de coberturas.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 31. Descriptores, evaluación y valores del indicador Capacidad de gestión (CG).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Capacidad de Gestión (CG)	Relaciones institucionales, asociatividad, información y planeación	Muy alta capacidad de gestión. Buenas relaciones institucionales, capacidad de conformar alianzas, participación en distintas asociaciones (juntas de acción comunal, juntas de acueducto, redes de reservas de la sociedad civil, otras), acceso a información sobre agrobiodiversidad, sistemas de planificación interna de la finca para definir espacios y tiempos de reforestación o rotación de coberturas.	10
		Alta capacidad de gestión: se cuenta con tres factores de gestión orientados a propósitos de instalación y mantenimiento de las coberturas.	8
		Media capacidad de gestión: se cuenta con dos factores de gestión orientados a propósitos de instalación y mantenimiento de las coberturas.	6
		Baja capacidad de gestión: se cuenta con un factor de gestión orientados a propósitos de instalación y mantenimiento de las coberturas.	3
		Muy baja capacidad de gestión: No se aborda ningún factor de gestión para propósitos de instalación y mantenimiento de las coberturas.	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. Descriptores, evaluación y valores del indicador Acceso a asistencia técnica agroecológica (AATA).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Acceso a Asistencia Técnica Agroecológica (AATA)	Oferta, calidad, frecuencia, acceso	Muy alto AATC: hay muy alta oferta de asistencia técnica de muy buena calidad y presencia de instituciones de fomento con programas orientados a la agrobiodiversidad en el contexto local (SENA, ONG, universidades, otros), que se ofrece con facilidades y de forma frecuente.	10
		Alto AATC: hay alta oferta de asistencia técnica de muy buena calidad y presencia de instituciones de fomento con oferta de programas orientados a la agrobiodiversidad en el contexto local, pero de baja frecuencia.	8
		Medio AATC: hay moderada oferta de asistencia técnica y presencia de instituciones de fomento con oferta de programas orientados a la agrobiodiversidad, pero de difícil acceso y baja frecuencia.	6
		Bajo AATC: poca o muy poca oferta de asistencia técnica o programas orientados a la agrobiodiversidad, de difícil acceso y escasa frecuencia.	3
		Muy bajo AATC: no hay oferta de asistencia técnica ni presencia de instituciones de fomento con oferta de programas orientados a la agrobiodiversidad.	0

Fuente: elaboración propia.

El criterio final de Capacidad de Acción (CA) se evalúa promediando los valores de cada uno de sus indicadores: Capacidad económica y financiera (CEF), Capacidad logística (CL), Capacidad de gestión (CG) y Acceso a asistencia técnica agroecológica (AATA), de acuerdo con la expresión 21; su interpretación se presenta en la Tabla 33.

$$CA = \frac{CEF + CL + CG + AATA}{4} \quad (21)$$

Tabla 33. Descripción del criterio Capacidad de acción (CA).

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Capacidad de acción (CA)	Capacidad financiera, Capacidad logística, Capacidad de gestión y Acceso a Asistencia técnica y capacitación	Muy alto nivel de capacidad de acción: el agroecosistema posee muy altos niveles en todos los factores de capacidad de acción para implementar la EAP	10
		Alto nivel de capacidad de acción: el agroecosistema posee de altos a muy altos niveles en todos o por lo menos en tres de los factores de capacidad de acción para implementar la EAP	8
		Medio nivel de capacidad de acción: el agroecosistema posee medios a altos niveles en todos o por lo menos en tres de los factores de capacidad de acción para implementar la EAP	6
		Bajo nivel de capacidad de acción: el agroecosistema posee bajos niveles en por lo menos tres de los factores de capacidad de acción para implementar la EAP	3
		Muy bajo nivel de capacidad de acción: el agroecosistema posee bajos a muy bajos niveles en todos los factores de capacidad de acción para implementar la EAP.	0

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4

Aplicaciones generales de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores

En los últimos años se han publicado múltiples estudios en relación con índices e indicadores que valoran la agrobiodiversidad en diferentes formas y escalas. Unos se dirigen a estudiar las relaciones de funcionalidad, esto es, las interacciones entre los distintos componentes de la biodiversidad agropecuaria; otros persiguen establecer parámetros de evaluación espacial de los múltiples componentes bióticos de los agroecosistemas en relación con su estructura. En palabras de Griffon (2008), se estudia la arquitectura del agroecosistema, que está conformada básicamente por tres componentes: (i) la abundancia y riqueza de elementos en el sistema; (ii) el número de relaciones entre los elementos; y (iii) la redundancia de estas relaciones.

La EAP se inscribe en la segunda tendencia de índices que buscan expresar la estructura de los agroecosistemas. Este índice no pretende dar cuenta de las complejas interrelaciones, funciones o roles que se entretajan en los agroecosistemas mayores. Provee, en cambio, una referencia que puede resultar útil en la descripción misma de los agroecosistemas y en la visibilización de los diferentes componentes que poseen las fincas bajo diversas condiciones. Con el tiempo, por supuesto, se realizarán las debidas conexiones y estudios que vinculen la EAP con diversos procesos y funciones de los agroecosistemas, algunos de los cuales se describirán en este capítulo.

En la primera línea de estudios sobre la funcionalidad de la agrobiodiversidad, además del ya citado aporte pionero del profesor venezolano Diego Griffon, se destacan los trabajos del equipo de investigadores cubanos liderados por el profesor Luis Vázquez que se ha preocupado por entender y cuantificar las relaciones de los distintos niveles de biodiversidad que coexisten en los agroecosistemas (Vázquez y Matienzo, 2006; Vázquez, 2011, 2013; Vázquez y Alfonso, 2013; Vázquez *et al.*, 2014). Al respecto, en el último trabajo citado, los autores clasifican los distintos niveles de biodiversidad en los cuatro componentes funcionales siguientes:

- *Biodiversidad productiva*: plantas, animales y otros organismos introducidos de manera intencional y planificada con fines productivos y económicos. Incluyen mono y policultivos, plantas ornamentales, animales de crianza (mayores y menores), árboles en sistemas agroforestales y silvopastoriles, entre otros.
- *Biodiversidad asociada*: organismos que se relacionan directamente y en forma positiva o negativa, con propiedades fisiológicas y de defensa de los cultivos. Incluye arvenses, nematodos, organismos nocivos herbívoros, fitófagos, fitopatógenos, parásitos, polinizadores, reguladores naturales, microbiota epífita, biota rizosférica y macrofauna edáfica.
- *Biodiversidad auxiliar*: plantas no cultivadas, o de presencia natural, que se dejan establecer o que se introducen intencionalmente para propiciar efectos positivos sobre el resto de la biodiversidad. Incluye especies utilizadas en cortinas rompevientos, cercas o barreras vivas externas e internas, parches o remanentes boscosos, herbazales, matorrales, vegetación secundaria, corredores ecológicos internos, abonos orgánicos, biopreparados, micorrizas y controladores biológicos introducidos.
- *Biodiversidad introducida*: organismos que se manejan intencionalmente para generar efectos directos positivos sobre la biota productiva entre los que se cuentan polinizadores, entomófagos, entomopatógenos, antagonistas, nematodo-patógenos, micorrizas y abonos orgánicos.

A partir de allí, los autores proponen una muy interesante metodología para evaluar la biodiversidad en fincas utilizando elementos, diseños y manejos que se realizan en cada uno de los componentes de la biodiversidad ya enunciados; ello concluye, en una primera parte, con la determinación del Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB) para cada componente de las biodiversidad ya referido: *productiva* (CMBprod), *auxiliar* (CMBaux), *asociada* (CMBasoc) e *introducida* (CMBintr), que se expresa mediante la ecuación siguiente: $CMB = (\sum \text{indicadores de elementos, diseños y manejo} / \sum \text{valores óptimos de los indicadores}) \cdot 100$. De la misma forma determinan el Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad de las Fincas (CMBF).

Luego estos autores proponen describir las interacciones entre distintos elementos de la biodiversidad presentes en los agroecosistemas mayores y clasificarlas de acuerdo con su nivel de complejidad. Por considerarla de interés para la comprensión de las limitaciones, alcances y complementariedades de la EAP con otros índices, en los párrafos siguientes se presenta una breve síntesis de la metodología expuesta por Vázquez *et al.* (2014).

A partir de entender las interacciones como

...cualquier relación evidente entre dos elementos de la biodiversidad (ejemplos: entre los insectos polinizadores y las plantas que polinizan, entre los hongos antagonistas del género *Trichoderma* y los hongos fitopatógenos, las que se

establecen en la asociación entre una planta de maíz y una planta leguminosa)... (Vázquez *et al.*, 2014, p.155).

dichos autores inician el proceso enumerando todas las interacciones posibles que se puedan establecer entre los elementos de la biodiversidad identificados en cada finca (lo cual denominan “Interacciones observadas”, IO).

El paso siguiente propuesto por Vázquez *et al.* (2014, p. 156), es el de acotar los valores obtenidos en los diagnósticos en función de un máximo común denominado “Densidad de interacciones de la biodiversidad en la finca (DIBF)”, que expresa el valor de las interacciones observadas (IO) en una evaluación particular, en relación con el número máximo posible de interacciones para ese predio (Imax). Esta relación se expresa con la siguiente ecuación:

$$DIBF = \left(\frac{IO}{Imax} \right) * 100 \quad (22)$$

El valor máximo teórico de interacciones (Imax) se da “cuando todos los elementos de la agrodiversidad interactúan entre sí”, lo que los autores consideran poco realista, puesto que en la realidad solamente se pueden observar y estimar o medir una fracción mínima de tales interacciones. A partir de referencias de la literatura, y de su experiencia en trabajos similares, los autores determinaron un porcentaje del 45% como máximo teórico matemáticamente posible, valor que, aunque conservador en su propia opinión, resultaría adecuado para los objetivos de este tipo de trabajos. Por lo tanto, para estimar o medir el número de Interacciones máximo posible (Imax), los autores proponen la expresión:

$$Imax = N \frac{N - 1}{2} (0,45) \quad (23)$$

donde *N* representa el número de diferentes especies en el agroecosistema, es decir, su riqueza.

Los autores señalan que para establecer el valor de la Densidad de interacciones de la biodiversidad en la finca (DIBF) solo se requiere realizar la siguiente operación: $DIBF = [2 (IO) / N (N - 1) 0,45] 100$.

Es decir, que para obtener su valor es suficiente con conocer el número de Interacciones observadas (IO) y la riqueza de especies del agroecosistema (N). Adicionalmente sugieren que, dado que se ha realizado un ajuste al número de Interacciones máximo posible (Imax), es posible que, en ocasiones, se obtenga un valor de la DIBF mayor a 100, en cuyo caso proponen igualar su valor a 100.

La evaluación de las interacciones en las propias fincas se efectúa de manera participativa a partir de un proceso de cartografía social en el que técnicos y agricultores comparten conocimientos sobre las principales interacciones que

ocurren entre los elementos de la biodiversidad productiva, auxiliar, asociada e introducida en los predios.

Con los resultados de la evaluación de cada uno de los Coeficientes de manejo de la biodiversidad de la finca (CMBF) y la Densidad de interacciones de la biodiversidad en la finca (DIBF) se obtiene el grado de complejidad del sistema de producción, para lo cual los autores proponen la Tabla 34.

Tabla 34. Interpretación de los Índices CMBF y DIBF en términos de grados de complejidad de los agroecosistemas mayores (*Fuente:* tomado de Vázquez *et al.*, 2014).

Coeficiente de manejo y densidad de interacciones (%)	Grado de complejidad	Denominación del grado de complejidad del Agroecosistema Mayor
0-20	0	Simplificado
21-40	1	Poco complejo
41-60	2	Medianamente complejo
61-80	3	Complejo
81-100	4	Altamente complejo

Como puede observarse, los trabajos citados pretenden sistematizar la complejidad de interacciones que se entrecruzan en los agroecosistemas. Pero estas interacciones dependen de la comprensión de los elementos que integran su estructura y es por esta razón que la EAP mantiene su vigencia en tanto aporta a la cuantificación y entendimiento de tal disposición o configuración de elementos en el paisaje.

En las páginas siguientes se describen algunos aportes recientes desarrollados en el Programa de Estudios Ambientales Agrarios del Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, relacionados con la aplicación de la EAP en diversos procesos descriptivos, productivos, fitosanitarios, ecosistémicos, de seguridad alimentaria y de adaptación a la variabilidad climática en Colombia.

La Estructura Agroecológica Principal de las fincas como descriptor del agroecosistema mayor

La primera aplicación de la EAP se realizó en la Sabana de Bogotá (Colombia), en un estudio comparativo de fincas ecológicas dedicadas especialmente a la horticultura (León *et al.*, 2011). En él se utilizaron algunos criterios diferentes a los que se exponen en este documento (por ejemplo, el manejo de arvenses)

y también se incluyeron formas diferentes de medirlos (por ejemplo, la conectividad con el paisaje se realizó midiendo los porcentajes de cercas vivas efectivamente conectadas con parches de vegetación). Aun así, es interesante retomar el resumen de los resultados de ese primer ejercicio.

El trabajo valoró seis fincas agroecológicas (Gabeno, Tierra Verde, Yemayá, Organizmo, Yuma y Senderos de Paz), ubicadas en la cuenca del río Chicú (Tenjo y Tabio, Cundinamarca, Colombia), a partir de resultados obtenidos por el grupo de agroecología del Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, en estudios previos de identificación. Las características morfométricas de los seis agroecosistemas mayores se analizaron mediante dos imágenes Landsat, a partir de los 10 criterios ambientales ya señalados.

Para evaluar la diversidad de los conectores internos y externos, los autores utilizaron las cercas vivas como transectos, seleccionando áreas de 100 metros cuadrados en los cuales obtuvieron el material vegetal (tallos, hojas, flores de las plantas presentes) para los análisis florísticos y de estructura. El trabajo se complementó con seis talleres participativos de cartografía social y cinco entrevistas semiestructuradas.

En las seis fincas ecológicas estudiadas se encontraron valores de EAP entre 47 y 81, que sugerían diferencias sustanciales de manejo (Tabla 35).

Tabla 35. Estructura Agroecológica Principal (EAP) de seis fincas ecológicas en la cuenca del río Chicú (Cundinamarca, Colombia) en el año 2011.

FINCA	CEEP	ECE	DCE	ECI	DCI	US	MA	OP	CON	CA	EAP
Gabeno	1	8	6	6	3	5	5	10	5	10	59
Tierra Verde	3	10	8	6	6	8	10	10	10	10	81
Yemayá	6	10	10	3	3	5	5	10	5	5	62
Organizmo	3	6	3	3	3	3	1	5	10	10	47
Yuma	1	8	6	1	1	5	10	10	5	10	57
Senderos de Paz	3	10	8	3	3	5	5	10	5	5	57

MA = Manejo de arvenses; OP = Otras prácticas de manejo. Las demás siglas corresponden a las expuestas en la Tabla 2. (Fuente: tomada de León-Sicard *et al.*, 2011).

Como se puede apreciar en la Tabla 35, la única finca con EAP fuertemente desarrollada fue Tierra Verde (EAP = 81). Este agroecosistema mayor es un verdadero “faro agroecológico” de la Sabana de Bogotá (Colombia) porque su propietaria se ha distinguido por su alto grado de compromiso y conocimien-

to ambiental que se expresa en un agroecosistema diverso, con la totalidad de sus prácticas siguiendo procedimientos ecológicos y con una muy buena cobertura y diversidad de sus cercas vivas, internas y externas, y de su sistema hortícola (Figura 21).

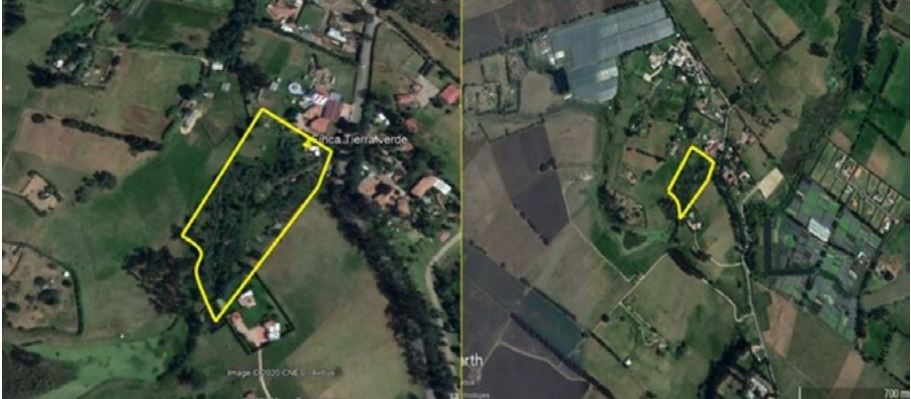


Figura 21. La finca Tierra Verde, dentro del perímetro en amarillo, muestra una alta agrobiodiversidad interna (EAP) en la fotografía izquierda y un paisaje circundante muy transformado en la derecha; nótese las estructuras de invernaderos en el costado superior izquierdo. (Fuente: elaboración propia).

Tierra Verde presenta deficiencias (CEEP = 3), como casi todas fincas las que se encuentran en la zona (excepto Yemayá con CEEP = 6), en su conectividad con la estructura ecológica principal del paisaje, lo que refleja la historia de ocupación territorial de la zona.

En efecto, casi todos los agroecosistemas mayores estudiados estaban inmersos en una AEP del paisaje dominada por potreros y con muy bajas densidades de parches o corredores de bosques remanentes. Esta conectividad, o estado actual del paisaje, es un factor independiente de la voluntad del agricultor, puesto que los paisajes se moldean históricamente al compás de fuerzas sociales, económicas, políticas y militares en donde confluyen, en el tiempo, interacciones disímiles que transforman las coberturas vegetales, las rondas de los ríos, las vías de acceso e incluso la fisonomía general de los terrenos particulares y del conjunto del territorio.

En este caso, el paisaje de la Sabana de Bogotá (Colombia) está dominado por fincas convencionales de ganadería de leche o de horticultura intensiva, en donde se ha talado la mayor parte de los bosques originarios que han reemplazados por praderas de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), gramínea de alto valor para el ganado pero extremadamente invasora y difícil de erradicar, así como por cultivos intensivos de hortalizas y flores que, en los últimos cincuenta años, se han instalado en la modalidad de invernaderos de

plástico. Los menores índices de conexión con la estructura ecológica del paisaje en ese estudio fueron reportados para las fincas Gabeno y Yuma (CEEP = 1) que se encuentran ubicadas en paisajes altamente transformados.

La finca Yemayá obtuvo un puntaje de EAP = 62 (moderadamente desarrollada) debido esencialmente a la diversidad de sus conectores externos que presentan por lo menos cuatro estratos de vegetación. Las demás fincas (Gabeno, Organismo, Yuma y Senderos de Paz) fueron valoradas con puntajes de 59, 47, 57 y 57 (EAP ligeramente desarrollada) debido, en parte, a la poca extensión o inexistencia de cercas vivas internas, generalmente dominadas por alambres de púas o cercas eléctricas.

De manera contrastante, y con excepción de la finca Organismo, los resultados mostraron altos valores para los perímetros de cercas vivas en todos los agroecosistemas mayores estudiados. La Figura 22 muestra a la finca Senderos de Paz con una cerca externa de abutilones (*Abutilon insigne*).

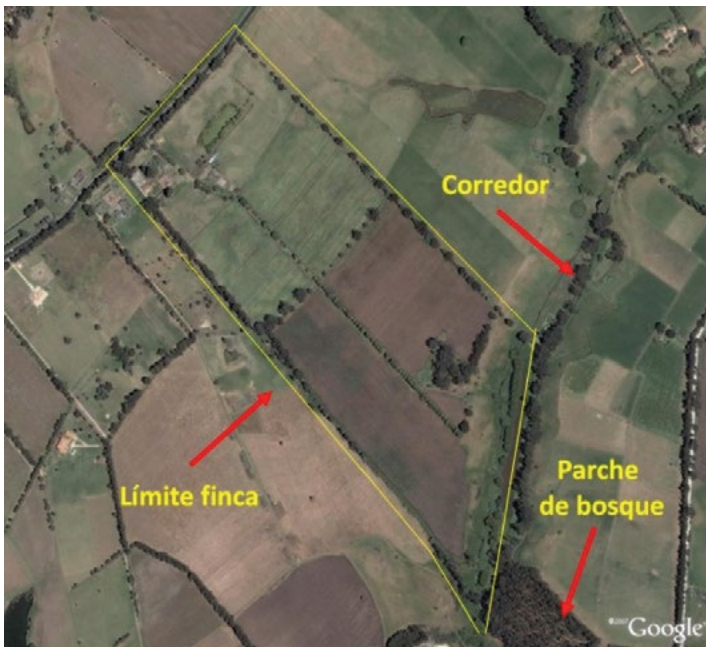


Figura 22. Conectores externos de árboles nativos en una sola hilera en la finca Senderos de Paz. Se puede observar un remanente de vegetación natural que conecta con la finca en la parte inferior. (Fuente: elaboración propia).

Como dato interesante, los autores indican que el relativamente bajo valor en el criterio de la Extensión de conectores externos (ECE = 8) asignado a la finca Yuma, se debe a que los vecinos que colindan con ella en el costado suroccidental no deseaban, por motivos estéticos y de seguridad, que se

colocara ninguna barrera de árboles y sistemáticamente impidieron todos los esfuerzos de siembra de material vegetal en ese lindero (los árboles literalmente les tapaba la visibilidad sobre su camino de acceso y no podían identificar visitantes o intrusos).

En las fincas estudiadas, el uso principal del suelo corresponde a cultivos ecológicos casi siempre certificados de hortalizas, instalados entre el 20% y el 40% de las superficies de las fincas Gabeno, Tierra Verde y Yuma.

Un dato que llamó la atención a los autores fue que, en cuatro de estas fincas ecológicas que exhiben valores altos de EAP, los agricultores desconocen el rol ecológico de los enlaces, setos y cercas vivas, es decir, que poseen conocimientos reducidos de la biodiversidad auxiliar.

Otra información interesante reportada por este primer ejercicio, es que la finca Organismo, utiliza al mismo tiempo prácticas ecológicas y convencionales, debido a que el propietario arrienda catorce de sus veinte hectáreas a personas que implementan prácticas convencionales de Revolución Verde en sus cultivos. Esta situación se repite en muchas fincas de la Sabana de Bogotá (Colombia) y coloca un interrogante sobre los procesos de reconversión, clasificación y de manejo en estos agroecosistemas "híbridos".

Como parte de las conclusiones de esta primera aplicación de la EAP, los autores llaman la atención sobre los relativamente bajos valores de EAP reportados en cinco de las seis fincas ecológicas estudiadas, precisamente porque de ellas se esperaban distribuciones espaciales, prácticas y comportamientos diferentes que redundaran en mayores valores del índice. Aunque no se realizó un análisis estadístico por componentes, sí parece que la explicación más plausible de estos valores bajos de EAP en las fincas agroecológicas radica en un aparente olvido del manejo de cercas vivas, tanto al interior como en el perímetro, y a un entorno dominado por sistemas convencionales de agricultura. Tales sistemas convencionales generan una matriz de agroecosistemas en monocultivos (tanto para praderas como para cultivos transitorios) y en estructuras de invernaderos que homogenizan el paisaje y rebajan las calidades de los hábitats para distintas especies benéficas.

Otro trabajo reciente, en la misma línea de utilizar la EAP en la caracterización de un agroecosistema mayor, lo realizó Murgueitio (2020), pero en un agroecosistema de tipo institucional perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia. En ese trabajo la autora le asignó a esta finca un valor de EAP de 64,76 (moderadamente desarrollada). En su análisis, la autora explica este resultado como producto de una baja conexión del agroecosistema con el paisaje, puesto que la matriz dominante es de extensas zonas de ganadería dominadas por pasturas en monocultivo, como resultado de procesos históricos de ocupación de la tierra que llevaron a intensos procesos de deforestación de los bosques naturales y a actividades muy extendidas de minería con poca tecnificación y compensación de efectos

ambientales. A pesar de ello, esta finca posee en sus límites externos, hileras o franjas de vegetación dispuestas de manera continua en su perímetro lo que le permite conectarse con otros elementos del paisaje.

Al interior del agroecosistema, los conectores son poco diversificados porque en su mayor parte se trata de cercas de alambre de púas o cercas eléctricas y sólo el 0,4 % de su superficie (más de 273 hectáreas) está cubierta con cuerpos de agua. Otro elemento importante en el análisis realizado por Murgueitio (2020) es que, al tratarse de un agroecosistema institucional, las decisiones que rigen su funcionamiento están supeditadas a los cambios periódicos que sufre su administración o su comité de dirección, cuyos miembros no siempre son favorables a manejos de tipo agroecológico. Aun así, la autora le otorgó una calificación alta a los procesos de percepción-conciencia (CON), asumiendo que el solo hecho de pertenecer a una institución de educación superior agraria garantizaría su manejo en términos de mayor sostenibilidad ambiental, cosa que de por sí no es estrictamente cierta.

Parte de los datos suministrados por la autora y que confirman lo dicho, se encuentra en que los usos favorables a la agrobiodiversidad solo ocupan el 33% de la finca y en que, como lo afirma la autora aunque en la finca tienen conocimiento de los beneficios que tienen las buenas prácticas de manejo en ganadería (PMg) y reconocen que dichas prácticas favorecen la agrobiodiversidad, que finalmente se ven reflejadas en aumento de la productividad, aún no se implementan en todas las áreas dedicadas a la producción de la finca, principalmente por limitaciones de inversión.

Luego de esta primera experiencia realizada en la Sabana de Bogotá (Colombia), los autores aplicaron la EAP en otros contextos y con otros objetivos, aunque conservando la idea de utilizarla constantemente como un índice descriptivo de los agroecosistemas. En el apartado siguiente se muestra la segunda aplicación de la EAP que realizó el Grupo de Investigación en Estudios Ambientales Agrarios del IDEA en fincas cafeteras y como parte de una evaluación de la resiliencia a la variabilidad climática.

La Estructura Agroecológica Principal de las fincas y la apropiación humana de la productividad primaria neta

Un caso de particular importancia de aplicación de la EAP fue realizado por Daza (2020). La autora partió de la necesidad de calcular la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN) a escala de finca, un índice utilizado cada vez con mayor frecuencia en los estudios sobre transformaciones del paisaje y que hace parte de recientes esfuerzos que se realizan para entender los efectos causados como externalidades por diferentes procesos de apropiación de los territorios en el mundo, entre ellos los relativos a la

producción de alimentos. Tales esfuerzos se realizan principalmente en escalas pequeñas (1:100.000 o menores) de municipios, localidades, regiones naturales o países, para demostrar los efectos ambientales condensados en índices que incluyen la huella hídrica, la mochila ecológica, la huella de carbono y la apropiación humana de la productividad primaria neta, entre otras. Se han realizado muy pocas investigaciones sobre este índice a escala de fincas o agroecosistemas mayores.

El índice de AHPPN muestra cómo las actividades humanas pueden incidir en la energía disponible en los ecosistemas afectando el potencial fotosintético a través del retiro de las coberturas originales y su reemplazo por otras, ligadas a actividades humanas, especialmente cultivos y pastizales. Inicialmente propuesto por Vitousek *et al.* (1986) para estimar los impactos del consumo de la productividad ecosistémica (alimentos, fibras y energía) a escala mundial, el concepto fue ampliado por Wright (1990), quien introdujo su relación con la biodiversidad, definiéndolo como la cantidad de energía que fluiría en los ecosistemas en ausencia de los impactos humanos. La Figura 23 muestra un esquema que ayuda a comprender el concepto y su posterior formulación matemática.

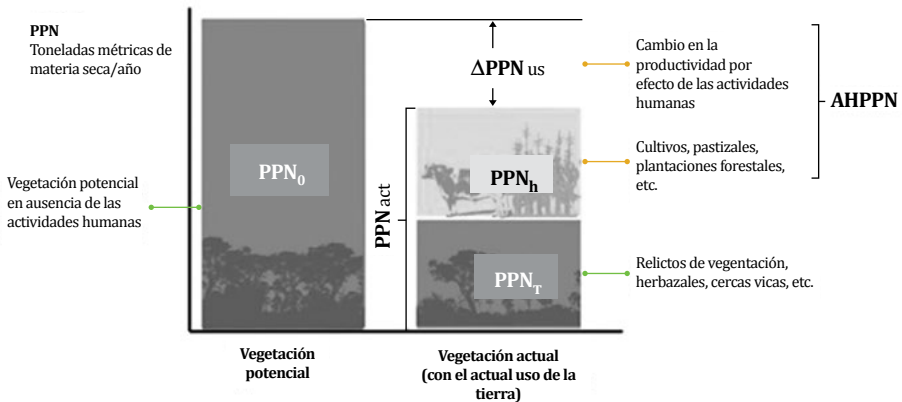


Figura 23. Esquema que ilustra el concepto de Apropiación Humana de la Productividad Primaria Neta (AHPPN). (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Daza (2020), citando los trabajos de Schandl *et al.* (2002) y de Erb *et al.* (2009) transcribe la expresión matemática de la AHPPN como sigue:

$$AHPPN = PPN_0 - PPN_t \quad (24)$$

$$AHPPN = \Delta PPN_{us} + PPN_h \quad (25)$$

Donde,

PPN_0 = Productividad primaria neta potencial de la vegetación que debería existir en ausencia de las actividades humanas.

PPN_t = Productividad primaria neta de la vegetal actual que corresponde a bosques, herbazales, cercas vivas y demás ecosistemas naturales aún remanentes.

PPN_h = Productividad primaria neta de la vegetación actual que corresponde a la biomasa recolectada o eliminada por el pastoreo, los cultivos, los procesos forestales y/o las áreas de asentamiento.

ΔPPN_{us} = Cambios en el potencial de productividad primaria neta por efecto de las actividades humanas (usos del suelo).

La $AHPPN$ se mide como la diferencia entre la PPN_0 (productividad primaria neta potencial) y la PPN_{act} (ecuación 26, que es a su vez la suma de PPN_t y PPN_h (ecuación 27).

$$AHPPN = PPN_0 - PPN_t \quad (26)$$

$$PPN_{act} = PPN_t + PPN_h \quad (27)$$

Por supuesto que la agricultura es la actividad humana de mayor influencia en las alteraciones de los flujos energéticos, los ciclos materiales y las cadenas tróficas de los ecosistemas y, por tanto, de la producción de biomasa utilizada en la alimentación y en otros usos por diferentes formas de vida.

También es evidente que no todas las maneras o sistemas de agricultura tienen los mismos efectos en la apropiación humana de la productividad primaria neta (PPN). De una parte, están los sistemas de agricultura convencional moderna que requieren la desaparición física de los bosques o coberturas naturales para la instalación de monocultivos pero de otra, aparecen los sistemas de agricultura alternativa al modelo de Revolución Verde que propician el mantenimiento y uso de la biodiversidad en todas sus expresiones.

De allí que la investigación de Daza (2020) buscara, de manera específica, comparar pares de agroecosistemas mayores ecológicos y convencionales para calcular los niveles de $AHPPN$ e indagar, al mismo tiempo, sobre los aspectos ecosistémicos y culturales que explican tales procesos. Para ello, eligió cuatro pares de fincas ubicadas en los municipios de La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia) y en estas ocho calculó la Estructura Agroecológica Principal de las fincas. La EAP es un índice muy apropiado para establecer la $AHPPN$ debido a que, en tanto índice ambiental, incluye variables del

orden cultural en su cálculo, especialmente en sus cinco criterios finales que tienen que ver con Usos del suelo, Prácticas de manejo, Prácticas de conservación de suelos, aguas y biodiversidad, Percepción-conciencia y Capacidad para la acción (financiera, logística, gestión y capacitación). Tales variables se abordaron con metodologías cuantitativas y cualitativas (entrevistas semiestructuradas y cartografía social, además de análisis del discurso con la herramienta Atlas Ti®).

El cálculo de los diferentes componentes de la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN) se explica ampliamente en la citada tesis, la cual utilizó modelos matemáticos, mapas de temperatura y precipitación realizados previamente, transformaciones de mapas con puntos de Productividad primaria neta potencial (PPNO) sobre un mapa ráster a través de un procedimiento de interpolación con el procedimiento probabilístico de interpolación espacial Krigin y asignación de valores de PPNO a las fincas participantes en el estudio.

La PPN actual (PPNact) se calculó a partir de la EAP, lo que permitió determinar, entre otros criterios, la organización del uso suelo en las fincas (aspecto necesario en la estimación de la PPNact) y las condiciones culturales que lo caracterizan. La medición de la PPNact incluye, tanto la PPNT (de los relictos de vegetación natural), como la PPNh (de las actividades humanas, en este caso cultivos y pasturas). Esta se calculó apelando a otros modelos disponibles en la literatura, con factores de conversión, para distintas coberturas.

La autora comparó, finalmente, los valores de AHPPN con los resultados de la EAP a través de una regresión polinómica de grado dos que permitió conocer la influencia de los diferentes factores que determinan la configuración de los agroecosistemas mayores (en este caso determinados por los criterios de la EAP) en los fenómenos de Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN). Esta metodología empleada, ya de suyo compleja, fue complementada con un análisis histórico de los procesos de ocupación del territorio desde la época precolombina hasta el presente.

Tabla 36. Estructura Agroecológica Principal (EAP) de ocho fincas convencionales y ecológicas en los municipios de La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia) en 2020.

Finca	CEPP	ECE	ECI	DCE	DCI	US	PM	PC	CON	CA	V/r	Descripción
Palma de Cera (E)	3	10	10	10	6	10	6,2	10	10	8	83,2	Muy fuertemente desarrollada
La Esperanza (C)	6	6	10	6	6	8	5	3	0	4,5	54,5	Moderadamente desarrollada
La Disculpa (E)	0	10	10	8	10	10	7,5	10	10	8	83,5	Muy fuertemente desarrollada

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

Finca	CEPP	ECE	ECI	DCE	DCI	US	PM	PC	CON	CA	V/r	Descripción
El Edén (C)	3	6	6	10	2	3	3	3	0	3,5	39,5	Ligeramente desarrollada
Natautá (E)	6	10	10	10	8	10	6.2	10	10	7,5	87,7	Muy fuertemente desarrollada
El Mirador (C)	3	10	8	6	4	8	3	3	3	2,2	50,2	Moderadamente desarrollada
Loma Larga (E)	6	6	10	8	2	6	5,6	6	6	5,25	60,8	Moderada a fuertemente desarrollada
La Aldea (C)	3	6	6	10	4	6	3	3	3	3,75	47,7	Moderada a Ligeramente desarrollada

E: Ecológico; C: Convencional. (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Los resultados del trabajo fueron muy interesantes (Tabla 36). En primer lugar se constató que se presentan estructuras (EAP) más desarrolladas en todas las fincas ecológicas en comparación con sus pares convencionales

La autora relacionó, de entrada, estos valores mayores de las fincas ecológicas con su menor apropiación de la biomasa en función, tanto de la misma naturaleza del sistema productivo (que en este caso privilegia la mayor agrobiodiversidad y la eliminación de sustancias químicas tóxicas), como de la historia general de ocupación humana de la región la cual, a través de los procesos complejos de apropiación y despojo de las tierras de los nativos originales generados desde la conquista española del siglo XVI, y los posteriores movimientos sociales ligados a las haciendas y a su posterior desmembración, configuraron a un paisaje dominado por praderas en monocultivo y áreas sembradas en café y caña de azúcar.

Por lo tanto, y al igual que en los otros casos expuestos en este libro, las fincas estudiadas se encuentran bastante desconectadas con la matriz general de bosques o de corredores ecológicos del paisaje debido al intenso reemplazo de las coberturas originarias por explotaciones pecuarias de muy pocas especies (*Brachiaria decumbens*) y usos agrícolas dominados por cultivos semipermanentes o permanentes. En la Figura 24 se muestran dos de las fincas con mayores y menores valoraciones de su conectividad con el paisaje (La Esperanza y El Edén, respectivamente).

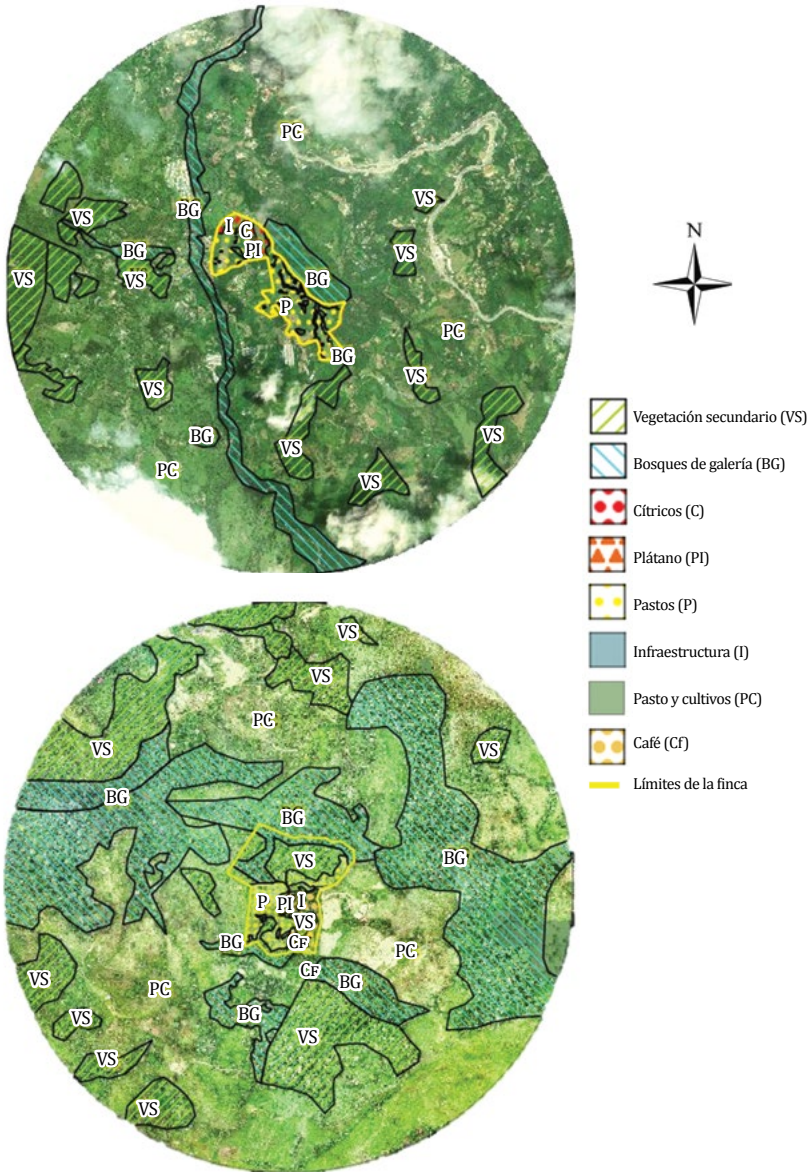


Figura 24. Finca ecológica (La Esperanza) y finca convencional (El Edén) del municipio de La Vega (Cundinamarca) que muestran, respectivamente, su mayor y menor conectividad con el paisaje. (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Nótese que la finca ecológica La Esperanza posee, en el área de influencia definida por los autores de la metodología EAP (un círculo de radio igual a dos veces la bisectriz más larga de la finca), una mayor densidad de bosques

de galería y vegetación secundaria que la finca convencional El Edén, la cual está rodeada principalmente de pastos y cultivos.

De manera concomitante, a partir de la información reportada por Daza (2020) sobre la extensión y diversidad de conectores internos y externos (cercas vivas, corredores y parches de vegetación natural), puede afirmarse que, por lo general, las fincas ecológicas superaron a las convencionales en estos criterios.

A partir de la Tabla 36 se puede colegir que los agroecosistemas mayores ecológicos, con excepción de la finca Loma Larga (6/10 en ECI), obtuvieron valoraciones máximas de 10/10 en los criterios ECE y ECI. Ello es evidente en la Figura 25, que presenta el ejemplo de la finca Palma de Cera con su perímetro externo completamente compuesto por un corredor y parches de vegetación natural, en contraste con la escasa presencia de coberturas vegetales en el perímetro y al interior de la finca convencional La Aldea.

De acuerdo con la información obtenida durante la evaluación botánica de estas coberturas, la autora constató una alta diversidad en tales coberturas (generalmente pertenecientes a bosques de galería, vegetación secundaria baja y alta), con más de 10 especies y distintos estratos (rasantes, herbáceos o arbustivos y arbóreos), y presencia de especies como *Syzygium jambos*, *Cordia*, *Oreopanax ficus* y otras de rápido crecimiento como *Trichantera gigantea*, *Miconia spp.*, y *Clusia multiflora*.

Otros factores que explican las diferencias de EAP entre las fincas ecológicas y convencionales (discutidas a fondo por la autora, además de las ya mencionadas mejores conectividades internas y externas al interior de las fincas no convencionales), se refieren a varios componentes culturales de percepción-conciencia y de capacidad para implementar la EAP. Entre ellas, Daza (2020) discute las motivaciones, intenciones y percepciones que originan una estrecha relación con la naturaleza, las cuales se reflejan en la gestión y el manejo interno de las fincas ecológicas, que contrasta con las pocas prácticas de manejo agrícola o ganadero y de conservación realizadas por los ganaderos convencionales, derivadas de bajos niveles de conciencia ambiental por parte de sus propietarios, lo que implica una muy baja gestión en pro de la agrobiodiversidad en esas fincas.

En segundo lugar, y como parte del interés que generó la citada tesis para los fines de este libro, los datos de la EAP obtenidos correlacionaron muy bien con la apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN), logrando un coeficiente de correlación muy alto y de sentido inverso ($R^2 = 0,81$) entre los dos índices (Figura 26).

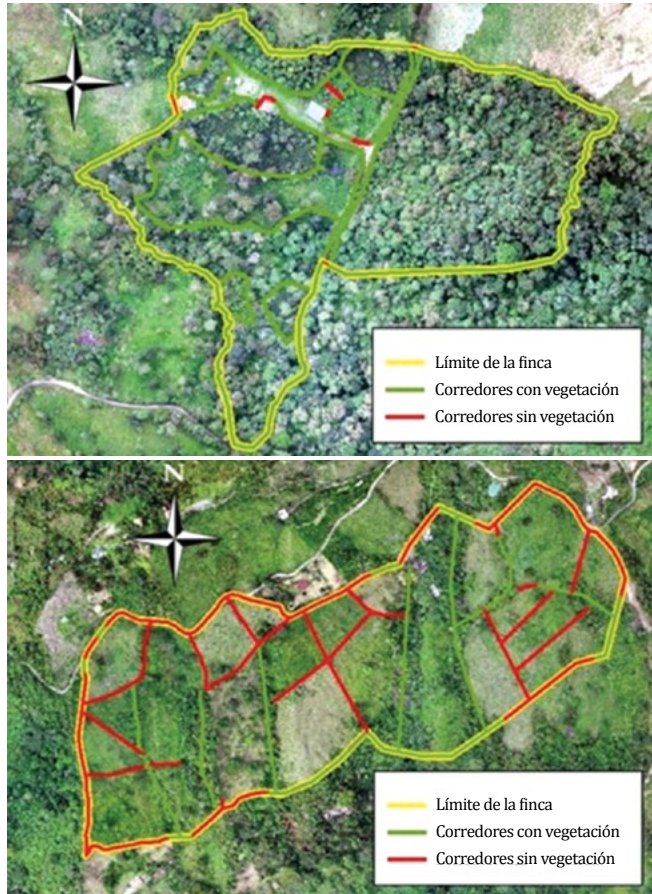


Figura 25. Diferencias entre conectores externos e internos de las fincas ecológica Palma de Cera (izquierda) y convencional La Aldea (derecha). *Fuente:* tomado de Daza (2020).

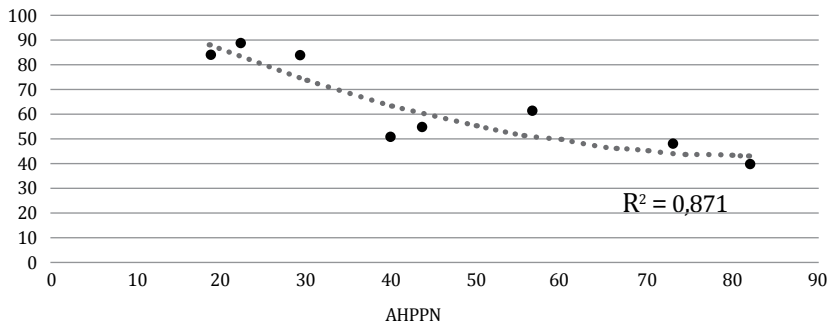


Figura 26. Relación entre los índices AHPPN y EAP de las ocho fincas estudiadas en los municipios de La Vega y Nocaima, Cundinamarca (2019). (*Fuente:* tomado de Daza, 2020).

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

Este coeficiente de correlación implica que, entre mayores fueron los valores de la Estructura Agroecológica Principal de las fincas, menor fue la Apropiación humana de la productividad primaria neta, constatación que se alinea con los mayores procesos y prácticas de conservación de la agrobiodiversidad característicos de los sistemas agroecológicos, que fueron los que presentaron mejores valores de EAP.

Pero no todos los componentes de la EAP explicaron con igual fuerza esta relación. Por ejemplo, el criterio Conectividad de las fincas con el paisaje (CEEP) arrojó valores bajos de correlación ($R^2 = 0,31$) que expresan una escasa influencia de este criterio en la AHPPN (Figura 27).

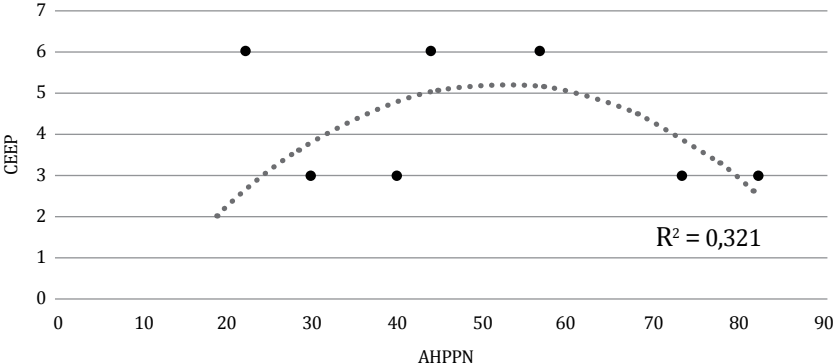


Figura 27. Coeficiente de relación entre la Conectividad de las fincas con la estructura Ecológica principal del Paisaje (CEEP) obtenido en ocho agroecosistemas ganaderos de La Vega, Cundinamarca (2002) y la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN). (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Esta débil relación se entiende en la medida en que, en ese trabajo, la AHPPN se midió a escala de la finca y no del paisaje. Justamente es dentro de los agroecosistemas en donde tiene lugar la destrucción de la biomasa, por la tala de la vegetación original y, al mismo tiempo, su renovación a través de la siembra de distintas coberturas vegetales, incluyendo gramíneas y leguminosas de distintos portes, árboles forrajeros o maderables, cultivos de diferentes variedades y usos, hierbas, arbustos y bancos de germoplasma, entre otras.

La evidente poca relación entre la CEEP y la AHPPN, se refuerza cuando se observa también el discreto factor de correlación de ésta con la Diversidad de los conectores externos, que fue de $R^2 = 0,46$, en contraste con la Diversidad de los conectores internos ($R^2 = 0,84$), según se observa en la Figura 28.

**Aplicaciones generales de la Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas mayores**

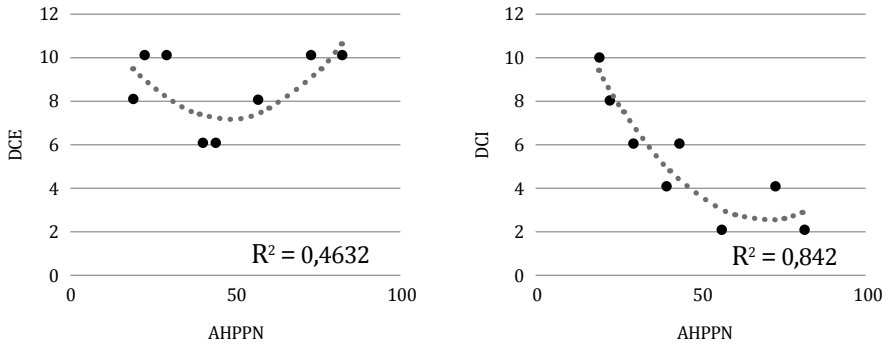


Figura 28. Coeficientes de relación entre la Diversidad de Conectores Externos (DCE) e Internos (DCI) obtenidos en ocho agroecosistemas ganaderos de La Vega, Cundinamarca (2002) y la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN). (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Sin embargo, no pasa lo mismo con aquellos criterios directamente relacionados con la implementación o incorporación de diferentes coberturas al interior de los agroecosistemas, los que son evaluados en la EAP específicamente con el criterio Usos del suelo (US), ni con otros criterios relacionados con el manejo de la biodiversidad, que muestran fuertes y estrechas relaciones con la AHPPN (como es el caso de la DCI, presentada en el párrafo anterior).

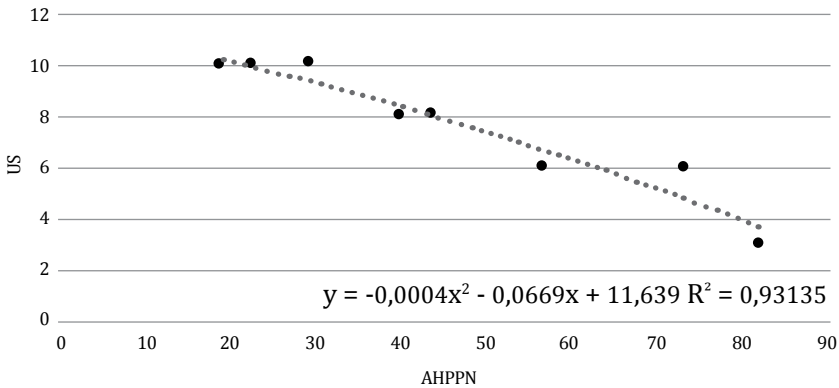


Figura 29. Coeficiente de relación entre los Usos del suelo (US) obtenidos en ocho agroecosistemas ganaderos de La Vega, Cundinamarca (2002) y la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN). (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Como se muestra en la Figura 29, la correlación entre AHPPN y los Usos del suelo dentro de las fincas (US), alcanzó un valor alto de $R^2 = 0,93$ que puede interpretarse como una dependencia fuerte e inversa entre el índice y el cri-

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

terio, lo cual quiere decir que, entre mayor es la biodiversidad empleada en los usos del suelo dentro de los agroecosistemas mayores (policultivos, sistemas silvopastoriles, parches de vegetación natural), menor es la apropiación humana de la productividad primaria neta. Ello se relaciona directamente con las superficies cultivadas y los tipos de cultivos empleados en las fincas ecológicas y convencionales (Tabla 37).

Tabla 37. Áreas (ha) y porcentajes (%) de los diferentes usos del suelo en las 8 fincas (cuatro ecológicas y cuatro convencionales) estudiadas en el municipio de La Vega (Cundinamarca, Colombia) en el año 2019(*).

Finca	Usos agrícolas				Usos pecuarios			Conservación		I
	F	H	Co	Cc	PF	P	Pa	Vs	Bg	
Palma de Cera	0,2	0,02	0,70		0,07	0,73		2,26	2,01	0,06
(E)	3,6	0,4	11,4		1,1	11,9		36,7	32,6	1,0
La Esperanza	0,04			0,68		1,65		2,17	0,94	0,06
(C)	0,7			12,3		29,8		39,2	16,9	1,0
La Disculpa	0,80	0,19				1,08		4,59	4,24	0,18
(E)	7,2	1,7				9,7		41,3	38,1	1,6
El Edén	2,16					33,29		5,39	1,06	0,17
(C)	5,1					78,5		12,7	2,5	0,4
Natautá	4,48					0,55		10,78	7,06	0,11
(E)	19,5					2,4		46,9	30,7	0,5
El Mirador	1,19					7,28		5,56	5,79	0,04
(C)	6,0					36,7		28,0	29,2	0,2
Loma Larga	0,20					10,77	0,79	6,53	1,51	0,06
(E)	1					54,3	4	32,9	7,6	0,3
La Aldea	0,37					17,99		0,71	5,19	0,15
(C)	1,5					73,8		2,9	21,3	0,6

*Los primeros valores de cada celda corresponden al área medida en hectáreas y los segundos al porcentaje de ocupación de determinado uso del suelo. E: finca ecológica; C: finca convencional; F: frutales, H: huerta; Co: café orgánico; Cc: café convencional; PF: plantación forestal; P: pastos; Pa: pastos arbolados; Vs: vegetación secundaria; Bg: bosques de galería; I: infraestructura. (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Como ya se había mencionado, la Tabla 37 indica que dentro de casi todas las fincas ecológicas (E) predominan los usos ligados a bosques de galería y vegetación secundaria, en contraposición con sus pares de fincas convencionales en las que los principales usos se relacionan con pasturas de brachiaria. La mayor diferencia se registra con los agroecosistemas mayores La Disculpa (ecológico) con un 79,4% de coberturas naturales, en contraste con la finca par El Edén que posee solo un 15,2% de estas coberturas.

Las correlaciones positivas entre la EAP y la AHPPN también aparecieron en los criterios de Prácticas de manejo ganadero (PMg), Prácticas de conservación (PC), Percepción-conciencia-conocimiento (CON) y Capacidad de acción (CA), que también explicaron las diferencias encontradas en EAP entre fincas ecológicas y convencionales (Figuras 30 y 31).

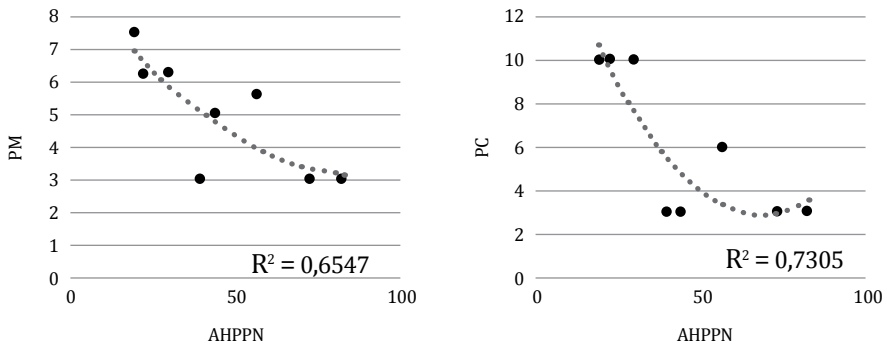


Figura 30. Coeficientes de relación entre los criterios Prácticas de manejo (PM) a la izquierda y Prácticas de conservación (PC) a la derecha y la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN), obtenidos en ocho agroecosistemas ganaderos de La Vega, Cundinamarca (2002). (Fuente: tomado de Daza, 2020).

En la Figura 30 se aprecian las correlaciones positivas entre la AHPPN y prácticas de manejo ganadero (PMg, izquierda) y conservación de aguas, suelos y biodiversidad (PC, derecha). Estos dos criterios también fueron superiores en las fincas ecológicas en comparación con sus pares convencionales, lo que ayuda a explicar las mejores valoraciones de la EAP a favor de aquellas y la correlación con la AHPPN.

En la discusión de resultados de la tesis de Daza (2020) se incluyen diferencias en las rotaciones de potreros que dificulta la recuperación de los pastos, la ausencia de acueductos ganaderos y su reemplazo por una red de mangueras, sin examinar la potabilidad del agua y la ausencia de asistencia técnica que implica el mal uso de las medicinas de síntesis que se administran al ganado en las fincas convencionales.

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas

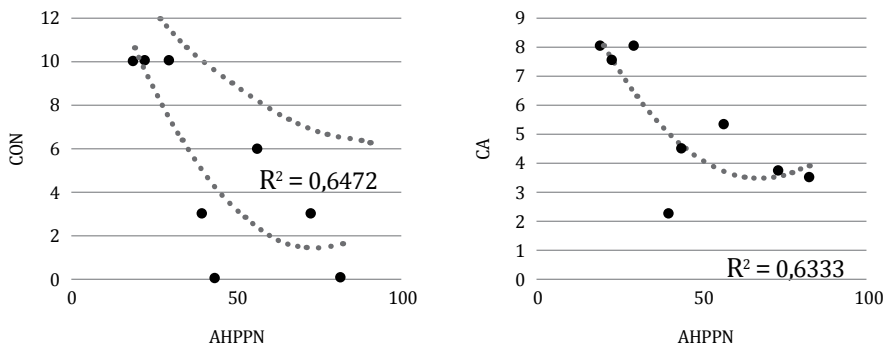


Figura 31. Coeficientes de relación entre los criterios Percepción-conciencia-conocimiento (CON) a la izquierda y Capacidad para la acción (CA) a la derecha, con la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN), obtenidos en ocho agroecosistemas ganaderos de La Vega, Cundinamarca (2002). (Fuente: tomado de Daza, 2020).

Las diferencias en lo que respecta al manejo de suelos, agua y biodiversidad también fueron evidentes: las fincas ecológicas utilizaban labranza de baja intensidad, abonos orgánicos e incluían prácticas fitosanitarias sin plaguicidas. Sus nacimientos y fuentes hídricas se protegen con coberturas boscosas naturales y se tienen estrategias de cosecha de agua. En ninguna finca ecológica se obtuvieron evidencias de erosión debido a la protección que ofrecen las masas boscosas; por su parte, las fincas convencionales presentan terracetos en porcentajes significativos. Además, cualitativamente, en ellas la autora pudo evidenciar procesos activos de compactación edáfica.

Adicionalmente, el asunto de la siembra o del incremento voluntario de la agrobiodiversidad (al igual que de la EAP) —y por lo tanto la reducción de la Apropiación humana de la productividad primaria neta (AHPPN)—, pasa por otros factores de tipo cultural que fueron evidenciados por el trabajo citado y que inciden sustancialmente en la correlación EAP : AHPPN. Como puede observarse en la Figura 31, el coeficiente R^2 es de 0,64 para el criterio Percepción-conciencia-conocimiento (CON) y de 0,63 para el criterio Capacidad de acción (CA).

En las fincas convencionales se reveló alto desconocimiento del significado de la agrobiodiversidad y sus funciones, con un concomitante bajo nivel de conciencia ambiental relacionada con su uso y conservación, en tanto que los propietarios de las fincas ecológicas hacen parte de la Red de Reservas de la Sociedad Civil (RESNATUR) que promueve la conservación de coberturas naturales por convicción, asociado a lo que Noguera (2004) denomina el *ethos* del habitar del mundo, que se expresa en la aceptación de responsabilidades frente al cambio climático y a la conservación de otras formas de vida no humanas.

Al contrario, en las fincas convencionales el valor de la agrobiodiversidad se relaciona principalmente con los beneficios económicos que esta brinda, expresados en su capacidad de mantener el flujo de agua o de proveer algo de sombra al ganado. En ocasiones, los propietarios consideran que es un “sacrificio” mantener áreas de conservación en las fincas porque ellas podrían utilizarse directamente en la producción.

Finalmente, en términos de las capacidades financieras, logísticas, de gestión y capacitación que definen el criterio Capacidad de acción (CA), que expresa las reales posibilidades de planear, establecer y mantener la conectividad de las fincas a través de la siembra oportuna de especies vegetales apropiadas a cada necesidad, los propietarios de las fincas ecológicas mostraron mayores recursos financieros, acceso a distintas fuentes institucionales de apoyo y capacidad de decisión a la hora de implementar la EAP.

Este ejemplo fue extractado del trabajo de grado de Yesica Xiomara Daza del Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, perteneciente al grupo de Estudios Ambientales Agrarios de la Universidad Nacional de Colombia. Muestra una importante función de la EAP en el cálculo de la huella dejada por las sociedades humanas en la apropiación de la biomasa y le da al índice EAP un giro nuevo en su apoyo al estudio de conflictos ambientales que transforman las coberturas vegetales en los territorios.

EAP y la resiliencia a la variabilidad climática: el caso de los productores de café en Anolaima (Cundinamarca-Colombia)

En esta oportunidad y utilizando los mismos diez criterios utilizados en el primer trabajo, Córdoba y León-Sicard (2013) valoraron la EAP como parte de 62 criterios ambientales (repartidos en 10 categorías ecosistémicas y culturales) que analizaban la resiliencia de un grupo de agricultores cafeteros, convencionales y ecológicos, a los cambios de clima en una escala de 1 a 5, en donde 1 representaba pocas posibilidades de resiliencia y 5 la mayor posibilidad.

El estudio se efectuó en el municipio de Anolaima (Cundinamarca, Colombia), en tres fincas ecológicas y tres convencionales dedicadas principalmente al cultivo de café, a partir de una metodología que combinó revisión de literatura, levantamiento cartográfico con GPS por finca, mapas obtenidos por cartografía social, levantamientos de vegetación, consulta de los planes de ordenamiento territorial del municipio y trabajo de campo, empleando diferentes métodos de investigación etnográfica (Córdoba *et al.*, 2013).

Luego de destacar las diferencias entre los agricultores ecológicos y convencionales en sus prácticas de conservación de suelos y de aguas, los autores revisaron las prácticas campesinas relacionadas con la biodiversidad, a través del cálculo de la EAP (Tabla 38).

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

Tabla 38. Estructura Agroecológica Principal (EAP) de seis fincas ecológicas y convencionales en Anolaima (Cundinamarca, Colombia) en 2012. (Fuente: tomado de Córdoba y León-Sicard, 2013).

Finca	EEP	ECE	DCE	ECI	DCI	US	MA	OP	PC	CA	EAP
Don José (E)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
Los Pantanos (E)	8	9	8	8	8	10	10	9	10	10	90
El Laurel (E)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
La Cajita	7	9	6	9	6	8	7	5	10	9	76
Don Arturo	5	6	6	8	5	8	7	5	5	5	60
El Turista	6	7	5	6	5	8	1	1	3	3	45

(E): fincas ecológicas; (C): fincas convencionales.

El principal rasgo a destacar, en comparación con el primer ejercicio, fue que se obtuvieron valores altos para la Estructura Agroecológica Principal en todas las fincas (exceptuando El Turista), lo que era parte de la hipótesis previamente formulada en el sentido de que este tipo de agroecosistemas cafeteros tradicionales, justamente por su naturaleza de agricultura con sombrío y en diferentes estratos, debería expresar valores superiores de EAP.

El estudio en Anolaima representaba una oportunidad para calcular la EAP en fincas ubicadas en el extremo de las posibilidades positivas de los valores asignados y para compararla con los valores de EAP obtenidos en la Sabana de Bogotá, que fueron sorprendentemente bajos por tratarse de fincas ecológicas.

De conformidad con lo esperado, todos los agroecosistemas ecológicos exhibieron valores superiores de EAP (entre 90 y 100, que los habilitaba como EAP fuertemente desarrollada), en comparación con los reportados para los cafetales convencionales (entre 45 a 76 que los consideraban como EAP moderada a débil).

Parte de estas diferencias se encontraron en el campo cultural de las percepciones (CON) y capacidades (CA), destacándose la finca convencional El Turista que era propiedad de un rentista ausente quien delegaba las decisiones en el administrador. Este agroecosistema mayor obtuvo calificaciones bajas en los criterios que entonces se utilizaron (Diversidad de conectores internos, Manejo de arvenses, Otras prácticas de manejo, Percepción y conciencia, y Capacidad para la acción) comparado con las fincas similares ecológicas.

Las otras dos fincas convencionales (Don Arturo y La Cajita) también deben sus bajos valores de EAP a factores culturales de sus propietarios, lo que dificultaban la siembra de mayor diversidad de especies vegetales, estimándose un estatus intermedio en los procesos de reconversión o transición a agricultura ecológica. Por su parte, en las fincas ecológicas se destacó el conocimiento de la agrobiodiversidad que, a su vez, los autores relacionaron con una mayor resiliencia a variaciones del clima.

El estudio hizo hincapié en los conocimientos sobre agrobiodiversidad que poseen los propietarios de las fincas El Laurel y Don José, los cuales son aplicados para el control biológico de la broca del café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari) utilizando hormigas nativas de estos hábitats.

Tabla 39. La EAP como referencia para evaluar el componente de agrobiodiversidad como parte de los factores que inciden en la resiliencia a la variabilidad climática de agricultores cafeteros de Anolaima, 2012 (Cundinamarca, Colombia).

Parámetro	Agroecosistemas mayores					
	Ecológicos			Convencionales		
	Don José	Los Pantanos	El Laurel	La Cajita	Don Arturo	El Turista
EAP	5	5	5	4	3	2
Diversidad animal	2	3	5	2	0	2
Usos biodiversidad	5	4	5	4	3	3
Presencia de plagas	4	4	4	4	3	4
Usos plaguicidas	5	5	5	1	2	1
Conocimientos arvenses	5	5	5	1	1	1
Conocimiento microorganismos	5	5	5	1	1	1
Conocimiento polinización	5	5	5	1	1	1
Conocimientos fijadores de Nitrógeno	5	5	5	1	1	1

Escala 1 a 5 en metodología del semáforo: en rojo, las fincas con parámetros que señalan baja agrobiodiversidad; en amarillo, agrobiodiversidad moderada; en verde, alta (Fuente: tomado de Córdoba y León-Sicard, 2013).

Como se señaló anteriormente, los autores emplearon 62 indicadores, entre ellos la EAP como expresión de la agrobiodiversidad, para valorar la resiliencia de los agroecosistemas cafeteros, ecológicos y convencionales, frente a la variabilidad climática en Anolaima (2012). De hecho, la Tabla 39 representa solo una porción de la tabla general de evaluación. En ella se puede apreciar la alta valoración que se le asignó en ese trabajo a la EAP dentro del conjunto de otros elementos de la agrobiodiversidad.

Como se puede apreciar, la EAP refleja las diferencias que existen en este componente de la biodiversidad entre las fincas ecológicas y las convencionales; en efecto, en casi todos los ítems valorados estas últimas presentan menores posibilidades de resiliencia ante la variabilidad climática. Recuérdese que la información fue colectada, como ya se indicó, a través de trabajos de campo con metodologías cualitativas y cuantitativas.

Por supuesto que la EAP por sí sola y como expresión de la agrobiodiversidad, no explica la totalidad de la resiliencia de los agroecosistemas a la variabilidad climática. En efecto, el trabajo realizado por Córdoba y León-Sicard (2013) —aunque sin haber efectuado análisis estadísticos multivariados—, muestra la influencia que tienen otros factores ecosistémicos y culturales en esta cualidad, tal como se desprende de la valoración realizada por dichos autores a los 62 factores citados (agrupados en 10 categorías: físicos, tipos de suelos, manejo de suelos y aguas, diversidad biológica, aspectos sociales, económicos, institucionales, políticos y tecnológicos), cuyo resumen se presenta en la Tabla 40.

Tabla 40. Resumen evaluación resiliencia de fincas ecológicas y convencionales en Anolaima (Cundinamarca, Colombia) – 2012, con criterios ecosistémicos y culturales (sin ponderar).

Criterios	Agroecosistemas					
	Ecológicos			Convencionales		
	Don José	Los Pantanos	El Laurel	La Cajita	Don Arturo	El Turista
Físicos	1,75	1,00	1,50	1,50	1,50	1,75
Tipos de suelos	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Manejo de suelos	5,00	5,00	5,00	1,75	1,75	2,00
Manejo de aguas	3,23	3,54	4,15	1,75	1,67	1,85

Criterios	Agroecosistemas					
	Ecológicos			Convencionales		
	Don José	Los Pantanos	El Laurel	La Cajita	Don Arturo	El Turista
Diversidad biológica	4,56	4,50	4,89	2,11	1,67	1,78
Sociales	3,31	3,08	4,31	3,31	2,77	3,08
Económicos	2,29	2,29	3,86	3,14	2,86	2,57
Institucionales	3	2,5	4	3,5	1,66	2
Políticos	3,67	3,00	3,67	3,00	2,33	2,33
Tecnológicos	3,67	3,33	5,00	3,67	2,33	3,00
Total	3,14	2,98	3,91	2,62	2,12	2,29

(Fuente: tomado de Córdoba y León-Sicard, 2013).

En relación con los componentes culturales que inciden en el manejo de estos agroecosistemas, entre los principales factores que inciden en la resiliencia se señalan la avanzada edad de los productores, su poca capacitación en temas de cambio climático, la baja presencia institucional y la poca participación política de los agricultores. Otro factor cultural mencionado por los autores citados es el que se refiere a los ingresos extraprediales (que varían entre fincas) y que constituyen un factor importante a la hora de reponerse de eventos climáticos extremos.

En la valoración cuantitativa, el estudio indica que, en general, las tres fincas ecológicas presentaron mayores índices relativos de resiliencia que sus homólogas convencionales, pero que todas ellas son físicamente vulnerables debido a que se ubican en montañas geomorfológicamente inestables, con pendientes elevadas y alta susceptibilidad a las remociones en masa. La región es ampliamente conocida en el país por sus tendencias a la reptación de suelos y a los derrumbes, que se manifiestan incluso mediante la destrucción de edificaciones y obras de ingeniería.

El manejo de aguas representa otra dificultad común para los habitantes rurales de Anolaima, puesto que su dependencia de las lluvias, de quebradas y de ríos es muy alta. En cada estación climática cálida, los arroyos, quebradas y pozos profundos se secan completamente, lo que genera graves problemas de abastecimiento del líquido vital, los cuales son paliados de alguna manera por el mismo sistema de café en estratos múltiples y con cobertura permanente del suelo, cuya estructura arcillosa contribuye en la retención permanente de agua.

Otro factor involucrado sustancialmente en la resiliencia ante la variabilidad climática, se relaciona, por lo menos en las fincas convencionales, con la aplicación continua de sustancias químicas de síntesis, lo que deriva en alta dependencia de insumos externos, reducción de conocimientos sobre manejos alternativos y disminución de las interacciones propias de los sistemas agrobiodiversos. Por el contrario, en las fincas ecológicas el conocimiento que se posee sobre el uso de la biodiversidad del sistema cafetero se manifiesta, entre otras actividades, en intercambios de plántulas y semillas resistentes a la sequía que aumentan la independencia y la autonomía, generan elementos de anticipación a los riesgos y potencializan el uso de recursos locales, aumentando la confianza y la autoestima en todos los agricultores campesinos de la zona que practican este tipo de agricultura.

En el caso de estudio con los campesinos cafeteros de Anolaima, la EAP se posiciona como parte de los factores que explican la resiliencia, puesto que entre más diversa la estructura y entre más componentes vegetales se entrecruzan con otros componentes bióticos y culturales, mayores serán las posibilidades de resistir, cambiar y modificar el curso de disturbios externos, en este caso el cambio climático. No obstante, la EAP no es la única variable —y puede que, en ocasiones, no sea la principal— en el complejo juego de la resiliencia.

Estructura agroecológica principal, resiliencia a la variabilidad climática y fitosanidad de cítricos en la orinoquia colombiana

Otro caso interesante de aplicación de la EAP que incluyó su utilización como parte de una evaluación de resiliencia ante la variabilidad climática y, a la vez, como una forma de relacionar la agrobiodiversidad con procesos ligados al manejo de la sanidad de los cultivos, fue el estudio realizado en una zona cítrica de la Orinoquia colombiana por Cleves-Leguízamo *et al.* (2019).

El trabajo se realizó en 18 agroecosistemas cítricos ubicados en distintos paisajes de piedemonte, lomerío y planicie aluvial en la región conocida como Llanos Orientales localizada en la Orinoquia colombiana. Tales fincas habían sido previamente agrupadas en seis grupos homogéneos (denominados *dominios de recomendación*), con base en un estudio de caracterización y tipificación de los sistemas de producción cítrica en el departamento del Meta, Colombia (Cleves y Jarma, 2014). Con procedimientos estándar se realizó la comprobación de suelos y la descripción de otras variables ecosistémicas y culturales, incluyendo la EAP, cuya metodología fue ajustada para introducir cambios en los criterios originales, pero conservando los mismos 10 propuestos inicialmente por León (2014).

Entre los años 2013 y 2015 se tomaron registros del número de controles fitosanitarios (NCF) dirigidos a insectos plagas y ácaros, que son los prin-

cipales causantes de pérdidas económicas en los cultivos de naranja de la variedad Valencia; al mismo tiempo se registraron sus producciones en toneladas por hectárea y año. Finalmente, se cruzaron las variables: EAP vs. productividad (PD), EAP vs. NCF y NCF vs. PD, a través de pruebas de comparación múltiple de Tukey (con un nivel de significancia de $p \leq 5\%$) entre medias de las variables citadas. La Tabla 41 presenta estos resultados.

Los resultados de la EAP mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las fincas del grupo 4 (EAP = 80,43, fuertemente desarrollada) en comparación con el resto de agroecosistemas mayores. A su vez, las fincas del grupo 1 también se diferenciaron significativamente del resto, pero por su muy bajo valor de EAP (27,0 considerada como débilmente desarrollada). A continuación, los agroecosistemas del grupo 3 también se diferenciaron del resto, por su puntaje de 44,9 (EAP ligeramente desarrollada), pero con excepción de las fincas del grupo 2 (EAP = 39,7). Aparecen finalmente las fincas de los grupos 5 y 6 (34,5 y 30,9), cuya EAP se interpretó como débilmente desarrollada.

Los análisis de componentes principales realizados por los autores, indican que las diferencias de EAP podrían explicarse con mayor fuerza por los criterios culturales Manejo de arvenses (MA), Otras prácticas de manejo (OP) y Capacidad para la acción (CA), y en menor medida por los criterios de tipo ecosistémico como la Conectividad de las fincas con la estructura ecológica del paisaje (CEEP) y los Usos del suelo (US) (Cleves *et al.*, 2019).

No obstante, para los fines de este libro basta destacar las diferencias observadas por los autores en relación con la extensión y diversidad de los conectores externos e internos, como se muestra en la Figura 32 en la que se aprecia un ejemplo contrastante entre la finca Cítricos del Milenio (perteneciente al grupo 4, el de mayor EAP) y Villa Morales (del grupo 5, con una EAP débilmente desarrollada).

Pero tal vez lo más interesante del trabajo de Cleves *et al.* (2019), además de sus contribuciones para el ajuste de la metodología y su propuesta del Índice de Resiliencia Agroecosistémica (IRAG)⁹, se refiere a las correlaciones que el grupo pudo demostrar entre la EAP y los indicadores de productividad (PD) y de manejo fitosanitario en términos del número de controles fitosanitarios (NCF).

⁹ El IRAG es un índice enfocado en evaluar la *resiliencia* de los agroecosistemas, propuesto por los profesores Alejandro Cleves y Javier Toro, que agrupa 40 parámetros en cinco grandes categorías: i) Ecofisiológicas, ii) bióticas, iii) tecnológicas, iv) económicas y v) socio-culturales.

Tabla 41. Estructura Agroecológica Principal de 18 agroecosistemas citrícolas de la Orinoquia colombiana.

Grupo	Finca	EEP	ECE	ECI	DCE	DCI	US	MA	OP	CON	CA	EAP	Interpretación
1	El Recuerdo	3,18	6	3	6	1	3	1	1	1	1	26,2	Débilmente desarrollada
	Porvenir I	2,93	1	1	6	6	5	1	1	5	1	29,9	
	La Alcancía	1,96	6	1	6	1	5	1	1	1	1	24,9	
	Promedio	2,69	4,83	1,67	6	2,67	4,33	1	1	2,33	1	27,0	
2	El Encanto	2,13	3	6	3	1	5	1	1	5	5	32,1	Débilmente desarrollada
	El Cortijo	2,85	6	6	10	3	5	1	1	5	5	44,8	
	Porvenir II	2,15	6	1	6	10	5	1	1	5	5	42,1	
	Promedio	2,38	5	4,33	5,33	4,67	5	1	1	5	5	39,7	
3	El Caimito	1,41	6	6	3	3	5	5	1	5	10	45,4	Ligeramente desarrollada
	Los Guácimos	1,82	3	1	3	10	6	5	1	5	10	45,8	
	La Leona	1,23	6	6	1	3	5	5	1	5	10	43,2	
	Promedio	1,49	5	4,33	2,33	5,33	5,33	5	1	5	10	44,9	

**Aplicaciones generales de la Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas mayores**

Grupo	Finca	EEP	ECE	ECI	DCE	DCI	US	MA	OP	CON	CA	EAP	Interpretación
4	El Refugio	3,67	8	6	10	10	6	10	5	10	10	78,6	
	C. Del Milenio	3,6	8	8	10	10	6	10	5	10	10	80,6	Fuertemente desarrollada
	A. Naranjal	4,04	10	8	10	10	5	10	5	10	10	82,0	
	Promedio	3,77	8,66	7,33	10	10	5,33	10	5	10	10	80,4	
5	Villa Morales	1,96	3	1	1	1	5	5	1	5	5	28,9	
	La Fe	0,93	6	3	1	1	1	5	1	5	5	28,9	Débilmente desarrollada
	La Linda	2,7	6	1	6	9	5	5	1	5	5	45,7	
	Promedio	1,86	5	1,67	2,67	3,67	3,67	5	1	5	5	34,5	
6	Villa Alicia	1,57	8	6	3	6	5	1	1	1	1	33,5	
	El Triunfo	2,35	6	1	3	3	5	1	1	1	1	24,3	Débilmente desarrollada
	Los Pinos	2,05	8	3	10	3	5	1	1	1	1	35,0	
	Promedio	1,99	7,33	3,33	5,33	4	5	1	1	1	1	30,9	

CEEP: Conexión con la estructura ecológica del paisaje; ECE: Extensión conectores externos; ECI: Extensión conectores internos; DCE: Diversidad de conectores externos; DCI = Diversidad de conectores internos; US : Usos del suelo; MA: Manejo de arvenses; OP: Otras prácticas de manejo; CON: Percepción-conciencia; CA: Capacidad de acción. (Fuente: tomado de Cleves *et al.*, 2019).

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

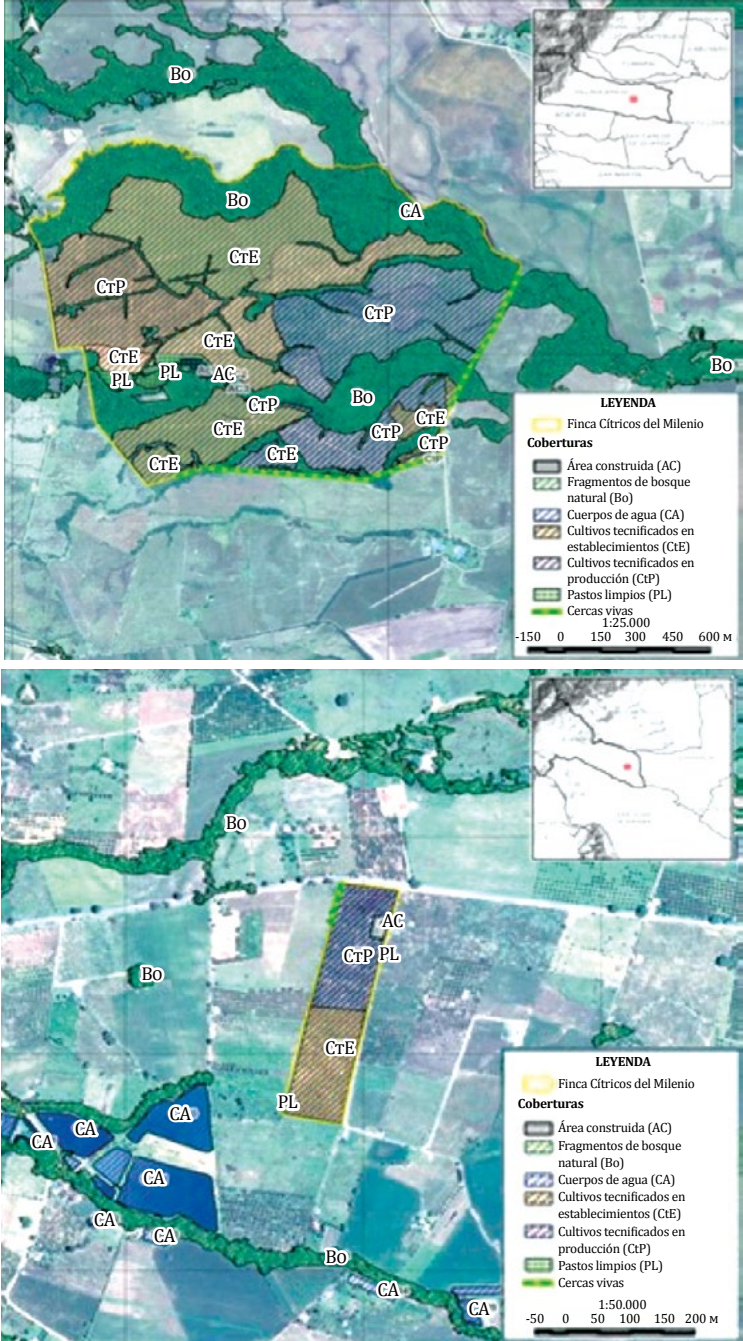


Figura 32. Contraste de una finca cítrica con buenos conectores internos y externos (Cítricos del Milenio, arriba) y otra finca (Villa Morales) sin conectores en la Orinoquia colombiana. (Fuente: tomado de Cleves *et al.*, 2019).

En el primer caso, y como se muestra en la Figura 33, se pudo constatar una relación directa y positiva entre la EAP y la productividad de los cítricos, la cual varía entre 23,1 t ha⁻¹ en las fincas del grupo 4 —que a su vez presentan los mayores índices EAP (80,4)—, y disminuye hasta 1,7 t ha⁻¹ en los agroecosistemas del grupo 6 que poseen la menor EAP (30,99).

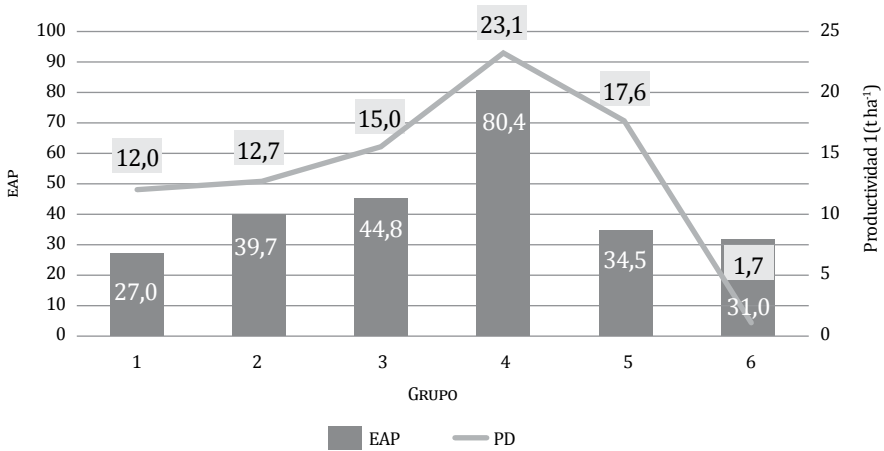


Figura 33. Relación entre la EAP y la productividad (PD) en seis grupos o dominios de recomendación en agroecosistemas cítricos del departamento del Meta, Colombia (2017). (Fuente: tomado de Cleves *et al.*, 2019).

Aunque los autores no avanzaron alguna hipótesis explicativa de esta correlación, es posible que ella se deba a los beneficios que aportan las distintas coberturas vegetales herbáceas, arbustivas e incluso arbóreas en la conservación y fertilidad de los suelos y en el incremento de interrelaciones bióticas entre diferentes componentes de este agroecosistema mayor, lo que a su vez redundaría en una mayor producción y la sanidad del cultivo, vía modificaciones microclimáticas, edáficas o ecológicas.

Los autores también demostraron relaciones significativas e inversas entre la EAP y la sanidad del cultivo, establecida ésta última a través del número de controles fitosanitarios (NCF) realizados por períodos en las fincas estudiadas (Figura 34).

La Figura 34 muestra que, entre mayor fue la EAP de las fincas estudiadas, menores fueron los controles fitosanitarios utilizados por los productores de cítricos en la zona. Tales controles se utilizan, en las épocas de menores lluvias, contra organismos de las clases insecta y acarina, y en las épocas de mayores lluvia, contra los agentes causantes de enfermedades fúngicas.

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

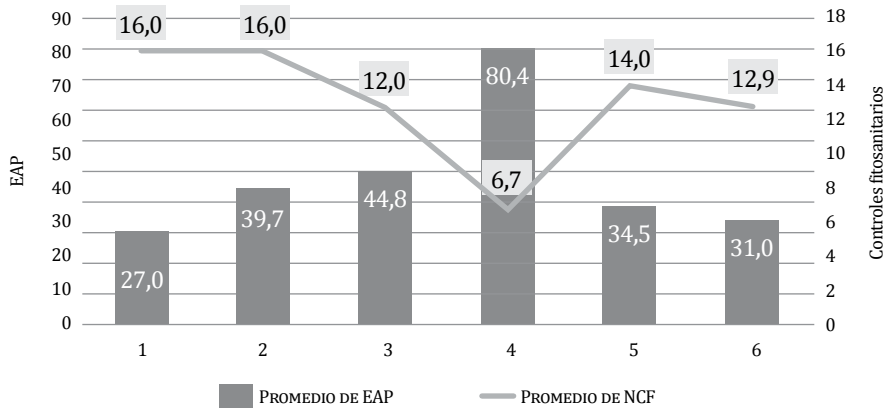


Figura 34. Estructura Agroecológica Principal (EAP) y Número de controles fitosanitarios (NCF), en seis grupos o dominios de recomendación de agroecosistemas cítricos del departamento del Meta, Colombia (2017) (Fuente: tomado de Cleves *et al.*, 2019).

En las fincas reunidas en el grupo 4, que se caracteriza por procesos de mayor organización (monitoreos, capacitaciones, promoción de la agrobiodiversidad, conservación de coberturas diversas, controles localizados) y a su vez por una EAP fuertemente desarrollada (80,4), los autores detectaron que se utilizaba un promedio NCF de 6,7 controles por año, mientras que en las fincas de los grupos con EAP débilmente desarrollada (grupos 1 y 2) se realizaban alrededor de 16 aplicaciones por año para controlar plagas, enfermedades y arvenses. Estas diferencias fueron bien captadas por los análisis de correlación que ejecutaron los autores citados y que muestran un factor R^2 de 0,84 para la relación EAP vs. NCF (Figura 35). Adicionalmente, los autores reportan una fuerte relación inversa entre el número de controles fitosanitarios (NCF) y la productividad (PD) ($R^2 = 0,90$).

Por otra parte, en el libro publicado de Cleves *et al.* (2019), la metodología incluyó la evaluación de la resiliencia ante la variabilidad climática a través del IRAG (Índice de resiliencia agroecosistémica), compuesto por 40 variables agrupadas en cinco categorías ponderadas (ecofisiológica, biótica, sociocultural, tecnológica y económica).

Desafortunadamente los diez criterios de la EAP utilizados dentro del IRAG, fueron repartidos o subsumidos en las categorías biótica y sociocultural, lo que no permite establecer su peso real en la resiliencia de los agricultores.

Sin embargo, los resultados parciales reiteran la importancia de mantener altos niveles de agrobiodiversidad en los agroecosistemas mayores porque, de nuevo, el grupo 4 de fincas con mayores valores en sus conectores internos y externos, volvió a exhibir mejores capacidades de resiliencia.

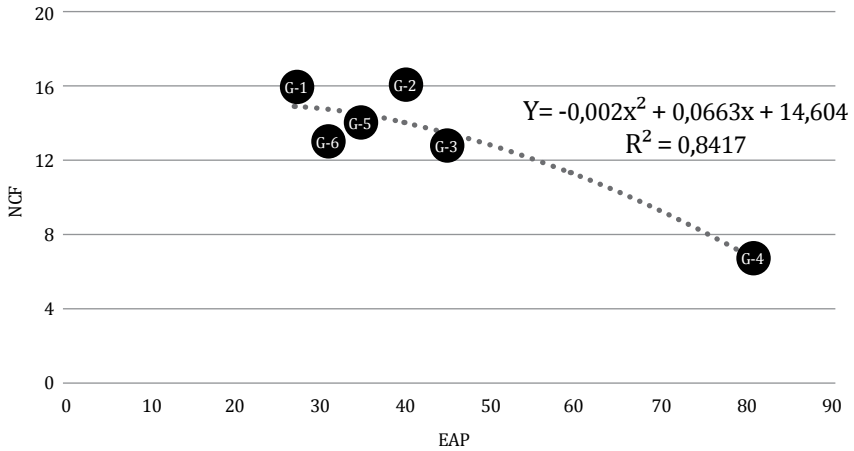


Figura 35. Correlación entre la EAP y el Número de controles fitosanitarios (NCF), en seis grupos o dominios de recomendación de agroecosistemas citrícolas del departamento del Meta, Colombia (2017). (Fuente: tomado de Cleves *et al.*, 2019).

No obstante, otros factores ligados a la propiedad de la tierra, la utilización o no de prácticas de conservación de suelos y aguas, factores de financiamiento y asistencia técnica, soporte crediticio, canales de comercialización, generación de valor agregado y reinversión en procesos de organización, también juegan preponderante en la resiliencia de estas fincas ante la variabilidad climática.

Un nuevo caso de aplicación de la eap al estudio de la resiliencia de agricultores campesinos ante la variabilidad climática en Boyacá, Colombia

La incidencia de la EAP como parte de las variables que explican la resiliencia, bien sea como reacción ante cualquier tipo de disturbio o como un proceso o capacidad inherente a la naturaleza misma de los agroecosistemas que se transforman continuamente —aún en ausencia de disturbios significativos—, también fue explorada por Lozano (2019). El trabajo se ejecutó como una colaboración interinstitucional con los profesores Neidy Clavijo y Manuel Pérez de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, líderes del proyecto “Cambio climático, seguridad y soberanía alimentaria: aportes de la agricultura familiar campesina en tres municipios de los Andes colombianos”.

El propósito fundamental de la tesis fue el de valorar la resiliencia de 24 agroecosistemas campesinos frente a la variabilidad climática en los municipios de Tibasosa, Turmequé y Ventaquemada (departamento de Boyacá),

mediante el estudio de sus principales prácticas culturales de adaptación y utilizando variables ambientales para su explicación.

La autora enfrentó dificultades iniciales de acceso a las imágenes de percepción remota, por lo que apeló a un trabajo de campo realizado en compañía de los habitantes locales con quienes compartió, en distintos espacios introductorios, los principios filosóficos y metodológicos de la EAP. Luego de este proceso, realizó recorridos conjuntos con los propietarios, durante los cuales se identificaron las coberturas vegetales de las fincas, tanto las ubicadas en los bordes en calidad de cercas vivas, como aquellas otras utilizadas como plantaciones, bancos de germoplasma, cultivos, producción pecuaria, conservación, jardines y huertas. Además, la autora tomó nota de la extensión, distribución y conectividad de tales coberturas, tanto al interior como al exterior de las fincas, georreferenciando puntos de interés y obteniendo el correspondiente registro fotográfico.

Posteriormente, se construyeron mapas individuales de las fincas con el concurso de cada familia (cartografía social), en donde se anotaron los detalles y las características de cada una de ellas, incluyendo nombre, ubicación, referentes topográficos y geográficos (quebradas, ríos, minas, áreas pobladas, carreteras). Con esta información, y en sendas sesiones especiales, cada familia valoró los diez componentes de la EAP directamente en el campo y en conjunto con la autora.

Finalmente se obtuvieron las bases de datos sobre localización y extensión de cada finca en el Sistema Nacional Catastral del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Se midieron las áreas y extensiones lineales de los conectores externos y externos y de las distintas coberturas representativas de los usos de la tierra al interior de cada agroecosistema mayor, a través de imágenes satelitales de Google Earth® (satélite Landsat) que se editaron en el Sistema de Información Geográfica de código libre Qgis.

Luego de un análisis a profundidad de las características ecosistémicas (geología, vegetación, relieves, suelos, clima) y culturales (composición familiar, grados de educación, migraciones, ingresos, tiempos de residencia, tamaño de predios, tenencia de la tierra), la autora presenta los resultados de su ejercicio de valoración de la EAP, como antesala para el análisis de la resiliencia a la variabilidad climática en los tres municipios mencionados (Tabla 42).

Tabla 42. Estructura Agroecológica Principal en agroecosistemas campesinos de los municipios de Tibasosa, Turmequé y Ventaquemada (Boyacá, Colombia).

Municipio	Finca	CEEP	ECE	DCE	ECE	DCI	US	MA	OP	PC	CA	EAP	Interpretación
Tibasosa	Monserate	4	8	8	3	8	5	1	5	5	5	52	Ligera
	La Tomita	7	10	6	3	3	3	5	5	5	1	48	Ligera
	La Suerte	6	3	3	1	1	5	1	5	1	1	27	Débil
	Las Brisas	3	1	1	1	1	6	5	5	1	1	25	Débil
	El Salitre	3	1	1	1	1	3	1	10	1	1	23	Débil
	La Francia	0	1	1	1	1	6	1	10	1	1	23	Débil
	San Rafael	0	1	1	1	1	5	5	5	1	1	21	Débil
	Canaguay	2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	15	Sin estructura
Promedio												29,3	Débil
Turmequé	Los Guaduales	2	6	6	3	3	5	10	5	10	5	55	Ligera
	El Choco	2	8	6	6	8	6	1	5	5	5	52	Ligera
	El Boquerón	4	8	8	6	6	5	1	5	5	1	49	Ligera
	El Guamo	2	6	8	6	3	5	1	10	5	1	47	Ligera
	San Vicente	2	6	6	3	6	5	1	5	5	5	44	Ligera

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

Municipio	Finca	CEEP	ECE	DCE	ECI	DCI	US	MA	OP	PC	CA	EAP	Interpretación	
Turmequé	La Buenavista	2	3	3	3	6	3	1	5	5	5	36	Débil	
	Buenavista	2	3	3	1	3	5	1	5	1	1	25	Débil	
	Barro negro	2	3	3	1	3	3	1	1	1	1	19	Sin estructura	
Promedio												40,9	Ligera	
Ventaquemada	Los Pinos	3	3	10	3	6	5	10	5	10	5	60	Ligera	
	Las Acacias	2	8	3	3	3	5	10	10	10	5	59	Ligera	
	Bellavista	2	10	3	1	1	5	10	10	10	5	57	Ligera	
	Las Casas	1	6	6	3	3	5	1	10	5	5	45	Ligera	
	Pastalito	2	6	3	1	1	6	1	10	5	1	36	Débil	
	La Jicara	2	3	3	1	1	3	5	5	5	5	33	Débil	
	El Delirio	2	3	3	1	1	3	5	5	1	5	29	Débil	
	El Recuerdo	2	3	1	1	1	3	1	5	1	5	23	Débil	
	Promedio												42,8	Ligera

CEEP: Conexión con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje; ECE: Extensión de conectores externos DCE: Diversidad de conectores externos; ECI: Extensión de conectores internos; DCI: Diversidad de conectores internos; US: Uso y conservación del suelo; MA: Manejo de arvenses; OP: Otras prácticas de manejo; PC: Percepción-conciencia-conocimiento; CA: Capacidad de acción. (Fuente: tomado de Lozano, 2019).

Como puede observarse en la Tabla 42, y a diferencia de lo reportado en las páginas anteriores para las fincas cafeteras de Anolaima (Cundinamarca), los valores de la EAP en las 24 fincas evaluadas siempre estuvieron por debajo de una calificación de 60 sobre 100, lo que indica que ninguna de ellas posee estructura agroecológica desarrollada o siquiera moderada. Todas clasificaron como fincas con EAP débil a ligera.

En el municipio de Tibasosa, en donde casi todos los agroecosistemas mayores presentaron estructura agroecológica principal débil, se destacan las fincas Monserrate y Tomita (localizadas en un paisaje colinado) que obtuvieron valores de 52 y 48 puntos sobre 100 (EAP ligeramente desarrollada). Los datos consignados por Lozano (2019), indican que ello se debe, fundamentalmente, a sus conectores externos e internos y a su integración con la estructura ecológica del paisaje, representada por relictos de bosques secundarios. De manera contrastante, las fincas ubicadas en las zonas planas obtuvieron calificaciones de EAP muy bajas, esencialmente porque permanecen desconectadas, sin cercas vivas o remanentes de vegetación internos o externos que las comuniquen con las escasas coberturas de los paisajes circundantes (matriz agropecuaria simplificada). En la Figura 36 se presentan las imágenes de dos de estas fincas, mostrando sus diferencias en relación con la conectividad al paisaje.

La autora propone una discusión interesante en relación con la ausencia de bosques naturales que, en su opinión, no se debe tanto a la historia de uso sino a los tipos de ecosistemas preexistentes que, en este caso, eran humedales ocupados por pajonales.

Como se ha indicado en páginas anteriores, la valoración de la conectividad de las fincas con el paisaje debe tener en consideración varios factores que incluyen, por supuesto, la historia de ocupación humana de los territorios, pero también las características ecosistémicas de las áreas ocupadas.

Para efectos del manejo y conservación de fincas ecológicas o agroecológicas, puede resultar tan positivo poseer conexiones con bosques que afectan parte de la vida silvestre y de las relaciones de la biodiversidad circundante a los sistemas productivos que se encuentran al interior de los agroecosistemas, como poseer conexiones con herbazales, arbustales u otros tipos de coberturas en sucesión, que ofrecen tantos o mayores recursos alimenticios o de hábitat para las especies de interés económico, es decir, para la mayoría de los cultivos.

En la misma línea de discusión, Lozano (2019) encontró que el principal cuerpo de agua ubicado dentro del área de influencia de muchas de estas fincas, corresponde al canal de distribución del distrito de riego local y ello la llevó a cuestionar su importancia como generador de relaciones ecosistémicas favorables. Si bien es cierto que existen diferencias en la funcionalidad de un canal de riego vs. un brazo de una quebrada o río, no es menos cierto que el primero le suministra ventajas esenciales al agroecosistema, como fuente principal del líquido vital y en ello no existe equivocación alguna para otor-

La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas

garle calificaciones altas a los agroecosistemas que posean canales de riego dentro de su perímetro o en sus zonas de influencia (2r) que suministren aguas de excelente calidad.

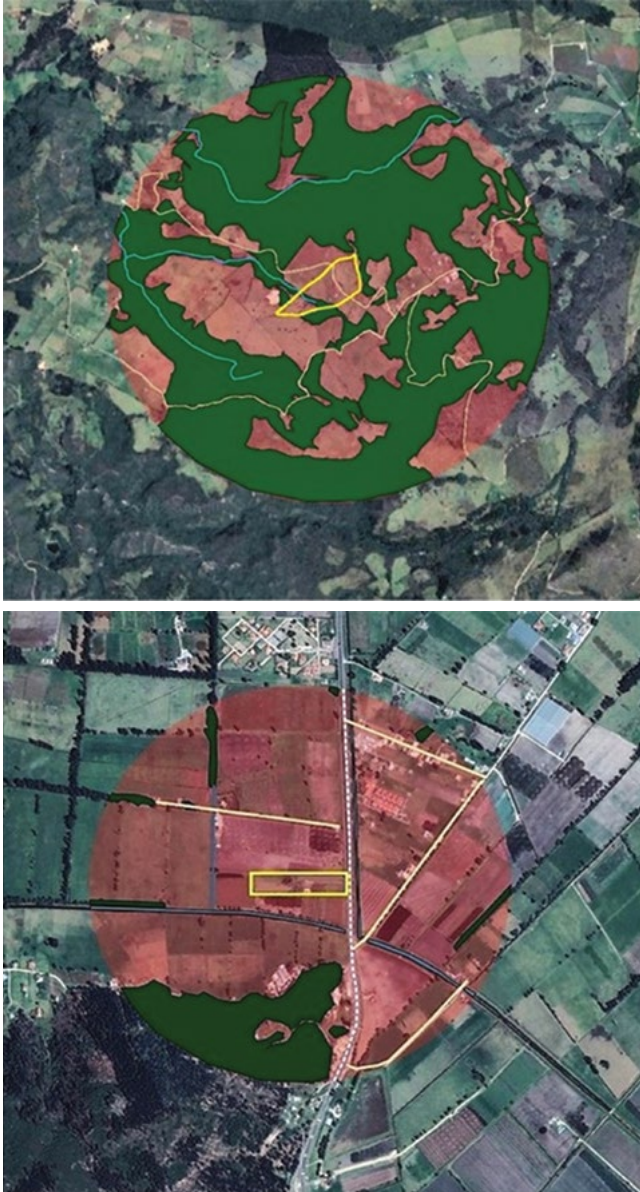


Figura 36. Fincas La Tomita (Superior) y El Salitre (inferior) ubicadas en el municipio de Tibasosa (Boyacá), que muestran diferencias en sus conexiones con la estructura ecológica del paisaje. Nótese el relieve plano y el canal de riego del Distrito Uso Chicamocha a la derecha. (Fuente: tomado de Lozano, 2019).

La situación es bien diferente es cuando el líquido que fluye dentro del canal de riego no posee las cualidades mínimas aceptables para su utilización con fines de riego. En este caso, estamos de acuerdo con la autora cuando indica que ello no favorece la producción ecológica porque estos tipos de canales no constituyen, en sí mismos, corredores que favorezcan la biodiversidad y porque, al contrario, son vías de distribución de contaminantes químicos o biológicos que pueden generar enfermedades y daños para los cultivos e incluso para la salud de seres humanos, cuando tales sustancias se insertan en las cadenas alimenticias llegando hasta los consumidores finales. En estos casos, y a juicio de cada investigador, la presencia de estos cuerpos de aguas contaminados que fluyen en canales de riego pueden ser calificados con valores bajos en lo que respecta a su valor dentro de la EAP.

Lo que sí se puede calificar positivamente, como lo hizo la autora citada, es un cuerpo de agua que influya en el agroecosistema a través de una vegetación natural que garantice alta funcionalidad. Es el caso mostrado en la Figura 37, que ilustra la presencia de un bosque secundario en el perímetro de la finca Los Pinos en el municipio de Ventaquemada, finca en donde, igualmente, se preservan los nacimientos de agua con árboles nativos.

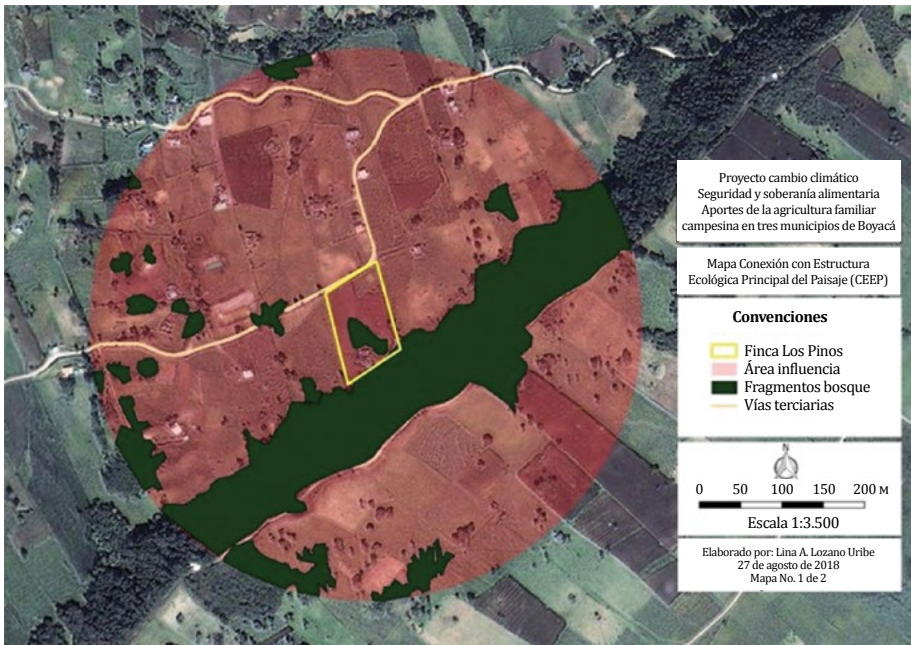


Figura 37. Conector externo de vegetación natural en la finca Los Pinos del municipio de Ventaquemada (Boyacá, Colombia). (Fuente: tomado de Lozano, 2019).

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

En relación con los usos del suelo (US), que también explican muchas de las diferencias encontradas en la EAP de las fincas estudiadas, la autora encontró una gama de coberturas que van desde el dominio absoluto de un monocultivo en la finca Canaguay, pasando por mejores porcentajes de distribución de coberturas favorables a la biodiversidad en los agroecosistemas Guadales y Monserrate, hasta fincas con predominio de bosques y de policultivos que les confieren mayores posibilidades de resiliencia (Figura 38).

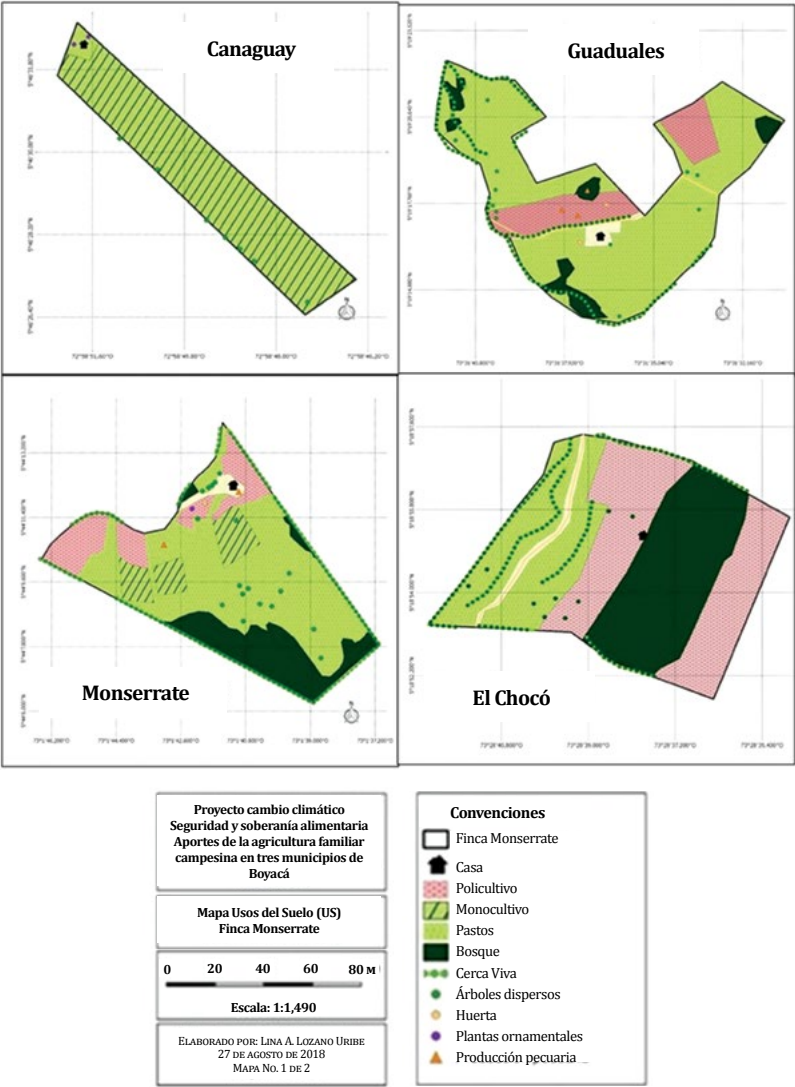


Figura 38. Usos del suelo en diferentes fincas estudiadas en los municipios de Tibasosa, Turmequé y Ventaquemada (Boyacá, Colombia). (Fuente: tomado de Lozano, 2019).

Otros rasgos interesantes que explican las diferencias encontradas, y que fueron ampliamente discutidos por Lozano (2019), se refieren a los procesos de manejo de las arvenses. Aunque este criterio fue subsumido en las modificaciones que sufrió la metodología de cálculo de la EAP, vale la pena acá mencionar algunos aspectos ligados a este criterio.

No todos los agricultores, incluyendo los ecológicos, conocen ni manejan bien sus arvenses por diferentes razones. Existen personas que se acostumbraron a eliminarlas por considerar que causan problemas a los cultivos principales (lo que fue en su momento uno de los principales motivos para desarrollar la malherbología), especialmente en lo relativo a la competencia por luz y nutrientes y porque pueden ser hospederas de insectos dañinos. Otros agricultores o agricultoras no las manejan porque desconocen sus funciones. No saben qué beneficios les proporcionan estas plantas en términos de exploración de diferentes profundidades del suelo, de alelopatías, de refugios para enemigos naturales, de conservación de suelos, de ciclado de nutrientes o de contenidos nutricionales o medicinales. Otros, sencillamente, no conocen su fenología o fisiología y, por tanto, no saben manejarlas en relación con podas, cosechas, floraciones o ciclos reproductivos. Los más, no poseen asistencia técnica de personas especializadas que los capaciten en su manejo.

Por ello, la autora solo reporta el manejo de las plantas arvenses en seis de las 24 fincas estudiadas (La Tomita, San Rafael y Las Brisas en Tibasosa, Bellavista y Las Acacias en Ventaquemada y Los Guadales en el municipio de Turmequé) con un manejo consciente sobre sus efectos alelopáticos como repelentes y como atrayentes de insectos polinizadores. Esto, ligado al interés de los propietarios, un nivel de conciencia ambiental desarrollado y capacitaciones que reciben por parte de la Universidad Juan de Castellanos. En el resto de fincas las arvenses se eliminan con procedimientos químicos, mecánicos o culturales.

Este manejo de las plantas arvenses está íntimamente relacionado con el criterio Percepción-conciencia-conocimiento (CON). En efecto, las personas que implementan un manejo deliberado de plantas arvenses y que reconocen sus funciones, a la vez que conocen las diferentes maneras de integrarlas al manejo de sus agroecosistemas mayores, poseen, por fuerza, grados de comprensión elevados del papel de la biodiversidad en sus predios y esa comprensión se deriva de altos niveles de conciencia ambiental.

En ocasiones resulta difícil valorar este criterio de Percepción-conciencia-conocimiento (CON) de la EAP, porque los procedimientos cualitativos de obtención y registro de la información son limitados (incluso la disponibilidad de tiempo y de recursos económicos de los investigadores juegan en contra de la recopilación fiable de información en el campo), pero, siguiendo el precepto bíblico “por sus obras les reconoceréis”, puede afirmarse que quien maneja ecológicamente sus arvenses, posee también altos niveles de percepción y

conciencia ambiental. Los datos suministrados por la autora, sugieren que existen estas estrechas relaciones en las fincas estudiadas.

La autora utilizó también el índice IRAG, mencionado previamente, para valorar la capacidad de resiliencia de los agricultores ante la variabilidad climática y encontró que aquellas fincas (La Tomita en Tibasosa, Los Guadales en Turmequé y Bellavista en Ventaquemada) que obtuvieron valores superiores de este índice, y por lo tanto mayores posibilidades de resiliencia ante la variabilidad climática, se diferencian del resto por implementar prácticas de conservación de suelos y agua, alta diversidad funcional y productiva, capacidad para la acción y conciencia ecológica, capacitación y activa participación en organizaciones comunitarias, uso de recursos propios, capacidad de ahorro, disponibilidad de asistencia técnica adecuada y manejo ecológico o en transición de sus sistemas productivos (Lozano, 2019).

Al contrario, aquellos agroecosistemas con bajos niveles de resiliencia se asociaron con dominancias de monocultivos, manejo agronómico convencional, ausencia de prácticas de conservación de suelos y aguas, poca diversidad funcional y productiva, EAP débil, pocos conectores, dependencia de un solo cultivo, mano de obra contratada y ausencia de asistencia técnica.

Estos resultados se colocan en la línea que demuestra que la resiliencia, en tanto capacidad de adaptación, respuesta y transformación de la realidad ante cualquier clase de disturbio, depende de factores diversos de orden ecosistémico y cultural. En ausencia de un trabajo de ponderación que muestre los grados de influencia de cada variable en la resiliencia frente a la variabilidad climática, la EAP aparece como un factor importante que aglutina y expresa otros elementos ecosistémicos. En el orden cultural, los factores implicados responden también a una complejidad alta y dependen de la historia, los balances de poder, los intereses económicos, la justicia social y la organización de las comunidades, entre otras cosas.

La Estructura Agroecológica Principal y la autonomía alimentaria

En las mismas fincas del estudio anterior, y basándose en las evaluaciones de la EAP que realizó Lozano (2019), Lucco (2019) utilizó la EAP, en conjunto con otras variables como número de especies de plantas cultivadas y silvestres, especies de animales y la cantidad de semillas conservadas, para incluir la categoría 'Agrobiodiversidad' en sus análisis sobre la autonomía alimentaria de las familias relacionadas tales agroecosistemas estudiados en Boyacá.

A su vez, junto a la categoría 'Agrobiodiversidad' incluyó otras tres variables gruesas en su análisis: 'Autoconsumo', 'Conservación de semillas' (como proceso) y 'Autogobierno comunitario', además de un estudio exhaustivo sobre los *saberes ancestrales* ligados a la autonomía alimentaria.

Los resultados mostraron contrastes entre municipios y fincas; entre estas surgieron diferencias sustanciales en la EAP, a favor de las fincas ubicadas en el municipio de Ventaquemada. Sin embargo, los datos señalan que no siempre los altos niveles de agrobiodiversidad se relacionan con altos niveles de autoconsumo.

En efecto, la autora detectó relaciones proporcionalmente directas entre las variables autoconsumo y agrobiodiversidad —expresada ésta última como cantidad de especies animales y vegetales, EAP y conservación de semillas— en muchas fincas, como en Los Guadales (Turmequé), La Tomita (Tibasosa) o El Pastalito (Ventaquemada) en donde tales variables presentaron valores altos, y otras como El Delirio (Ventaquemada), Buena Vista (Turmequé) y Canaguay (Tibasosa) en donde se constataron valores bajos de autoconsumo relacionados con bajos valores de agrobiodiversidad.

Sin embargo, Lucco (2019) también pudo constatar que, de manera contrastante, en algunas fincas con baja biodiversidad los niveles de autoconsumo eran elevados. Ejemplo de ello fue la finca Buena Vista (Turmequé) que presentó el segundo porcentaje más alto de autoconsumo de todas las fincas, pero a su vez posee una estructura agroecológica principal débilmente desarrollada (36) con pocas semillas conservadas y escasa presencia de especies de plantas cultivadas y de animales. Igual sucede en la finca El Salitre (Tibasosa) en donde, a pesar de no conservar semillas, ni poseer cantidades sustantivas de plantas silvestres o cultivadas y de presentar una EAP débil (23), se presenta el autoconsumo más elevado del municipio. A su vez, en la finca Los Pinos (Ventaquemada), la autora encontró la mayor EAP de las fincas de los tres municipios (60) y altas cantidades de especies de plantas silvestres, pero también el porcentaje de autoconsumo más bajo del municipio. Similares circunstancias se comprobaron en las fincas El Guamo (Turmequé) y Monserrate (Tibasosa). Estos resultados le permitieron concluir que “...una agrobiodiversidad alta no asegura por sí misma un autoconsumo elevado, y viceversa, un autoconsumo elevado no implica necesariamente una alta agrobiodiversidad en la finca...” (Lucco, p. 114).

Varias razones, algunas de ellas presentadas por Lucco (2019), pueden explicar estas correlaciones negativas. Puede ser que la mayor agrobiodiversidad de determinadas fincas no se relacione directamente con productos de oferta alimenticia, sino más bien con corredores, franjas o parches de bosques con predominio de plantas maderables o de otros usos. Es decir, que la agrobiodiversidad no se piensa o se promueve en función de la alimentación (en el caso de los conectores externos e internos) sino como proveedora de otros tipos de servicios ecosistémicos. También es posible que las fincas obtengan sus alimentos directamente de los cultivos principales que siembran, aunque no presenten estructuras desarrolladas ni alta agrobiodiversidad. Además, en el autoconsumo intervienen otras variables de mercado, precios,

preferencias, hábitos y decisiones de los grupos familiares, ya señalados por Pirachicán (2015).

Desde una perspectiva diferente, y en los mismos municipios, Clavijo (2019) estudió la conservación de tres tubérculos andinos actualmente considerados por las agencias internacionales como especies subutilizadas o desechadas: cubios (*Tropaelum tuberosum* Ruíz & Pavón); rubas o ullucos (*Ullucus tuberosus* Caldas) e ibias (*Oxalis tuberosa*, Molina) pero que hacen parte de las estrategias ancestrales de alimentación en esta región de la cordillera andina colombiana.

Su enfoque, de tipo ambiental, consistió en evaluar de manera simultánea variables y parámetros relacionados con las características biofísicas y culturales de los agroecosistemas que todavía utilizan estas especies, incluyendo sus sistemas productivos, las características de los paisajes circundantes y los conocimientos locales asociados a su manejo, consumo, utilización, valoraciones e intercambios.

Dentro de su aproximación al paisaje, la autora utilizó el primer criterio de evaluación de la EAP, es decir, la Conectividad de los agroecosistemas con la estructura ecológica del paisaje (CEEP). Ello, por cuanto reconoce que los agroecosistemas son sistemas abiertos desde los puntos de vista biofísico y cultural y, por lo tanto, muchas de sus trayectorias están mediadas por el contexto general de la biodiversidad conservada en los territorios y de su correspondiente encadenamiento socioeconómico, político y tecnológico. Entre sus resultados sobre este criterio, la autora encontró que la mayor parte de los agroecosistemas que estudió (17 en total), se encuentra en una matriz de paisaje dominada por pasturas y monocultivos, con escasos relictos de vegetación natural y, por lo tanto, desconectados de la estructura ecológica principal del paisaje (Tabla 43 y Figura 39). Es decir, son como islas en una matriz homogénea.

Este aislamiento comporta varias desventajas para el funcionamiento general del agroecosistema mayor las cuales se expresan bajo diversas manifestaciones: desequilibrios poblacionales, pérdida de diversidad de especies (al interior y exterior de los agroecosistemas), baja reciprocidad entre distintos tipos de biodiversidad, pocas posibilidades de control y manejo de poblaciones dañinas y de enemigos naturales, abundancia y diversidad reducidas de insectos entomófagos, reducción de fuentes alternativas de alimentos para polinizadores, aumento en la aspersión de plaguicidas, contaminación de fuentes de agua y, en fin, afectación de funciones ecosistémicas tales como regulación de poblaciones, ciclado de nutrientes, ciclos hidrológicos, flujos energéticos y sucesiones vegetales y animales (Barnes, 1999; Vitousek *et al.*, 1997; Foley *et al.*, 2005; Altieri y Nicholls, 2007; Brookfield y Padoch 2007; Sarandón, 2014; Moya, 2014; Altieri y Whitcomb, 1980; Kevan y Wojcik, 2011; Crissman *et al.*, 1998; Penque, 2005 y Balmford *et al.*, 2012, citados por Clavijo (2019).

Tabla 43. Grado de Conectividad con la estructura ecológica principal (CEEP) de los agroecosistemas tradicionales que cultivan tubérculos andinos en los municipios de Turmequé, Tibasosa y Ventaquemada (Boyacá, Colombia), con base en las categorías establecidas por León *et al.* (2018).

M/cipio	Finca	% B	DFB	DFBCF	%CA	DCA	DCACF	CEEP	Interpretación
Tibasosa	Canaguay	8	2	4	2	0	8	2	Baja
	El Salitre	15	4	6	2	0	10	3	Baja
	La Francia	0	0	0	0	0	0	0	Baja
	La Suerte	87	10	10	0	0	0	6	Media
	La Tomita	77	8	8	0	8	6	7	Media
	Las Brisas	13	10	10	0	0	0	3	Baja
	Monserrate	65	6	6	0	0	0	4	M. Baja
	San Rafael	0	0	0	0	0	0	0	Baja
	Buнавista	12	2	2	0,3	0	8	2	Baja
	Boquerón	34	6	8	0,6	0	8	4	M. Baja
Turmequé	El Guamo	7	8	10	0,0	0	0	2	Baja
	Guadales	10	2	6	0,4	0	10	2	Baja
Ventaquemada	Victoria	5	6	8	0,0	0	0	2	Baja
	El Delirio	18	8	8	0,0	0	0	2	Baja
	Recuerdo	4	8	8	0,0	0	0	2	Baja
	Los Pinos	27	8	6	0,0	0	0	3	Baja
	Pastalito	14	8	6	0,0	0	0	2	Baja

%B: Porcentaje de fragmentos de bosque en relación con el área de influencia de la finca; DFB: Distancia promedio entre fragmentos de bosque dentro del área de influencia de la finca; DFBCF: Distancia promedio entre fragmentos de bosque al centro de la finca; %CA: Porcentaje cuerpos de agua en área de influencia; DCA: Distancia promedio entre cuerpos de agua en el área de influencia; DCACF: Distancia promedio de los cuerpos de agua al centro de la finca; CEEP: Conectividad con la EAP. (Fuente: tomada de Lucco, 2019).



Figura 39. Finca El Guamo en Turmequé (Boyacá, Colombia) ubicada dentro de una matriz agropecuaria homogénea. En rojo se señala un relicto de vegetación natural aislado dentro de la finca, siendo evidente su baja conectividad con la estructura ecológica del paisaje [mayo de 2017, escala 1:500]. (Fuente: tomada de Clavijo, 2019).

Aunque la autora reconoce que la baja conectividad con el paisaje podría ser un factor de riesgo para la sostenibilidad de los agroecosistemas que cultivan tubérculos andinos, analiza una serie de factores adicionales de tipo cultural que matizan la importancia de la biodiversidad *per se* en la conservación de tales cultivos y, por lo tanto, en la seguridad, soberanía o autonomía alimentaria. Entre estos factores culturales, señala principalmente la influencia de varios aspectos:

- Organización y cohesión social alrededor de la familia, lo que les ha permitido rediseñar sus agroecosistemas en la línea de sistemas agroecológicos.
- Incorporación de prácticas sostenibles, adaptadas localmente y relacionadas con manejo de cultivos, conservación de suelos y adaptación a la variabilidad climática.
- Mezcla de conocimientos ancestrales con procesos de experimentación e innovación.
- Producción diversificada de sus agroecosistemas tradicionales.
- Recuperación de especies nativas ya olvidadas, uso de insumos orgánicos y prácticas de intercambio no monetario como trueques, donaciones y regalos, que actualmente ayudan a solventar la alimentación de la comunidad y que persisten desde épocas precolombinas en los agroecosistemas estudiados.

- Circuitos cortos de comercialización.
- Conservación de creencias, valoraciones identitarias y usos alimentarios y medicinales de los tubérculos estudiados.
- Interacción con otros actores territoriales que inciden en la comercialización de sus productos en mercados alternativos, como mercados agroecológicos y ferias campesinas, así como en procesos de capacitación y proyectos de desarrollo.
- Priorización del valor de uso de los tubérculos andinos, sobre su valor de cambio, a través de su historia.

Como corolario general de su trabajo, y en concordancia con lo que se ha venido planteando en estas páginas, la autora afirma que estos tubérculos andinos, fundamento de la alimentación en los agroecosistemas tradicionales de Boyacá, se mantienen en una red compleja de interacciones culturales y ecosistémicas (características del paisaje, configuración y manejo de los agroecosistemas, valoraciones y creencias de los agricultores andinos, prácticas de cultivo, usos, sistemas de intercambio y hasta procesos de organización local) que a la postre han dado para considerarlos, no como cultivos olvidados, subutilizados o subvalorados, sino todo lo contrario: como cultivos persistentes culturalmente, que demuestran por sí solos una extensa expresión de cualidades que ligan a estas comunidades campesinas con su territorio, su diversidad, su cultura y su historia.

La Estructura Agroecológica Principal y la funcionalidad de los escarabajos coprófagos

En traslape con algunas de las fincas estudiadas por Daza (2020), al momento de escribir estas líneas se desarrolla una investigación que relaciona la actividad funcional de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) con la EAP y, en particular, con algunos de sus criterios (Quintero, 2020). La autora parte de la problemática que vincula las prácticas convencionales en los sistemas ganaderos de montaña con la subsecuente pérdida de agrobiodiversidad y, en especial, con la afectación a estos insectos, cuya importancia funcional incluye el reciclaje del estiércol de mamíferos y pequeños vertebrados, y de otras fuentes de materia orgánica en descomposición (Halfpter y Matthews, 1966).

En los agroecosistemas ganaderos la contribución de los escarabajos coprófagos adquiere mayor importancia. Al construir galerías bajo, al lado o cerca de las masas fecales bovinas, y enterrar el estiércol para alimentarse o depositar sus huevos, introducen grandes cantidades de materia orgánica y nutrientes —así como microorganismos asociados a su degradación— al interior del suelo, a la vez que lo bioturba y crea nichos para el desarrollo de otras especies detri-

tívoras, contribuyendo a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológica, lo cual conduce finalmente a una mejoría de la fertilidad edáfica y al aumento de productividad de los pastos (Bornemissza y Williams, 1970). Adicionalmente, pero no menos importante, la desaparición rápida del estiércol de las pasturas disminuye el medio de reproducción de moscas y otros parásitos de importancia veterinaria, así como la liberación de CO₂ y metano, gases de efecto invernadero, a la atmósfera (Bornemissza, 1976; Penttilä *et al.*, 2013).

En los ecosistemas neotropicales, la mayoría de los taxones de Scarabaeinae (especialmente a nivel de tribu) presentan fuerte asociación con las coberturas arbóreas, lo que los hace más susceptibles en relación con la tala de árboles a nivel local (Gill, 1991). Sumado a esto, otras prácticas de manejo del sistema productivo ganadero, como el uso no controlado de medicamentos sintéticos veterinarios (en especial, aquellos derivados de la molécula ivermectina) causan efectos nocivos sobre poblaciones y comunidades de escarabajos coprófagos (Verdú *et al.*, 2018).

Con este marco general, y partiendo de la hipótesis de que la diversidad (riqueza, composición y función) de los escarabajos coprófagos está determinada, tanto por algunos componentes ecosistémicos relacionados con la configuración espacial y estructural de las coberturas vegetales al interior y alrededor de la finca, como por varios factores culturales relacionados con las prácticas de manejo y conservación presentes en ellas, Quintero (2020) se propuso evaluar la EAP en nueve fincas ganaderas de los municipios de La Vega y Nocaima (Cundinamarca), ubicadas en zonas montañosas de la cordillera de los Andes entre 1.000 y 1.300 msnm y relacionarla con la riqueza y composición de las comunidades de escarabajos en las diferentes coberturas evaluando, igualmente, su función (remoción de estiércol bovino) en los agroecosistemas seleccionados.

La metodología puso a punto instrumentos y técnicas mixtas de recolección de información a escala de paisaje, finca y coberturas, que incluyó levantamientos de información cartográfica con drones, estudios florísticos y fitogeográficos de las coberturas, entrevistas semiestructuradas a propietarios, registro de las prácticas de manejo agrario y de conservación de la biodiversidad, muestreo de los escarabajos coprófagos para determinar su diversidad estructural (riqueza, recambio de especies, composición de comunidades en las diferentes coberturas local y regionalmente) y evaluación de la función de remoción de excremento bovino en los sistemas productivos, tanto en las cercas vivas como los potreros mediante experimentos controlados.

Los resultados preliminares muestran algunas tendencias de correlación positiva entre la EAP y la diversidad de los escarabajos coprófagos, especialmente en lo relativo a la diversidad de los conectores internos y externos de las fincas (DCI y DCE) compuestos por coberturas de bosques de galería, vegetación secundaria baja y cercas vivas.

En efecto, la investigadora encontró que la riqueza o diversidad regional (diversidad γ) se encuentra alrededor de 36 morfoespecies para el total de los 85 sitios muestreados (Quintero, *com. per.*¹⁰). Constató una abundante riqueza local (diversidad α) en los bosques de galería (cañadas), que son los conectores más complejos en términos de riqueza y estructura florística que se encuentran de forma regular en las fincas, y demostró que representan la cobertura que más contribuye, aditivamente, a la conformación de la diversidad γ ($6,38 \pm 2,11$) (\bar{x} de especies localmente \pm D.S.), seguida por la vegetación secundaria baja ($4,83 \pm 1,85$).

A pesar de que las cercas vivas son conectores con baja riqueza florística y, en algunas ocasiones, con solo un estrato, presentan una riqueza local significativa ($5,83 \pm 2,28$). Los pastos con árboles, que no están presentes como cobertura constante en todas las fincas (más bien muchos potreros tienen árboles dispersos por los potreros) pueden albergar hasta $4,5 \pm 2,79$ especies localmente. Los potreros sin árboles, considerados como los elementos más pobres en términos de riqueza florística, albergan en promedio $3,68 \pm 2,26$ especies.

Las observaciones de la autora realizadas hasta el momento, le permiten afirmar que los bosques de galería que cubren las cañadas, como conectores de diversidad, juegan un papel esencial para conservar localmente el mayor número de especies posibles. Las especies más tolerantes y abundantes del bosque tendrían mayor probabilidad de moverse por el paisaje y colonizar parches de vegetación en sucesión secundaria. Esto ayudado por la presencia constante de árboles dispersos en los potreros y las cercas vivas, lo que facilitarían este movimiento.

Adicionalmente, la alta varianza y la estructura espacial de las comunidades de escarabajos en las diferentes coberturas, de acuerdo con su composición faunística, muestran bastante heterogeneidad. La autora evidencia un alto grado de dispersión en el espacio multidimensional, identificado por el análisis multivariado que construyó, especialmente cuando se observan las coberturas de tipo no boscoso, lo cual indica que no comparten una composición particular. Por tanto, las prácticas de conservación y manejo del sistema ganadero, explicadas a través de los criterios culturales de la EAP, están afectando local y “negativamente” la composición de estas comunidades.

Analizando la abundancia relativa por especie en las coberturas que tendrían “mayor” importancia desde el punto de vista del sistema productivo, se evidencia que hay una modificación de esa proporcionalidad en cada una de estas coberturas (Figura 40). Las cercas vivas y los potreros pueden estar dominados por algunas especies generalistas de bosque, mejor adaptadas a zonas abiertas y que pueden desplazarse con facilidad, para contribuir a la

¹⁰ Ingrid Quintero. Bióloga M.Sc. Doctora en Agroecología Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales. Email: iquinteros@unal.edu.co

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**

función de remoción de excremento bovino donde el ganado está presente. *Dichotomius sp. 02H* y *Onthophagus sp. 01H* son las especies que podrían tener especial importancia en esta función.

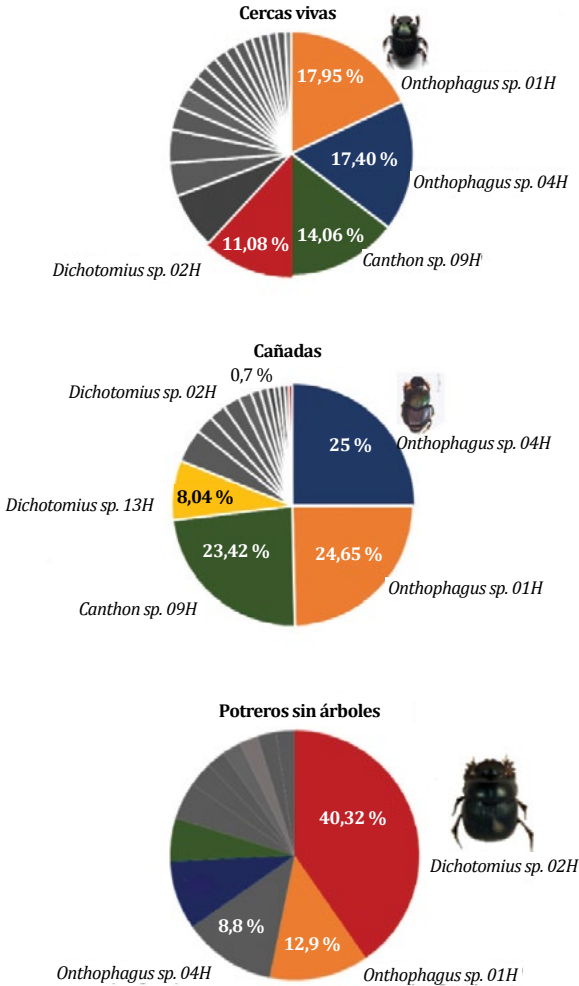


Figura 40. Abundancia proporcional de especies de escarabajos coprófagos en tres tipos de coberturas de agroecosistemas ganaderos de La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia). (Fuente: tomado de Quintero, 2020).

Las conclusiones preliminares de Quintero ponen de relieve que los conectores de vegetación juegan un papel fundamental en la diversidad de escarabajos presente en las fincas del estudio y que la calidad de estos conec-

tores está mediada por las motivaciones de los propietarios por conservar y mantener la “calidad” de estas coberturas.

La Estructura Agroecológica Principal de las fincas y la transformación del paisaje: ecoaldeas de Cundinamarca

Otro trabajo de particular importancia por sus repercusiones en los estudios del paisaje a escala de fincas, lo realizó Pinzón (2014) quien estudió algunas modificaciones generadas por el arribo de habitantes urbanos a zonas rurales de los municipios de Granada, Silvania y San Francisco en Cundinamarca (Colombia), donde fundaron tres ecoaldeas llamadas Varsana (creada en 1979), El Retoño (1998) y Aldeafeliz (2006).

Las ecoaldeas son procesos de agrupación voluntaria o construcciones sociales de individuos urbanos que retornan al campo buscando mejores condiciones de vida, que se manifiestan, tanto en la calidad del espacio físico, el aire y el agua, como en la posibilidad de generación de sus propios medios de subsistencia y de producción. Casi todas ellas poseen marcos filosóficos de respeto y amor hacia la naturaleza y sus acciones se guían, en ocasiones, por referentes espirituales y marcos éticos de vivir en armonía con el mundo natural. Algunos de ellos, presentados y explicados por la autora, se refieren a: (i) la primacía de la comunidad, (ii) el respeto por las iniciativas de la sociedad civil, (iii) el asumir el propio destino, (iv) compartir valores y, (v) actuar como centros de investigación, demostración y entrenamiento.

A estos marcos éticos, estas comunidades intencionales denominadas ecoaldeas, adicionan procesos de vivencia en las comunidades que los acogen y allí desarrollan acciones en relación con las dimensiones sociales, económicas y ecológicas.

Quienes se interesen en profundizar más al respecto pueden consultar la citada tesis que contiene una excelente reseña histórica sobre los orígenes de este movimiento, que se remonta al movimiento *hippie* de los años sesenta y setenta del siglo pasado, así como una revisión de los conceptos relacionados con las ecoaldeas que, en algún sentido, se refieren a la nueva ruralidad o al movimiento neorrural. También presenta varias tendencias de las motivaciones por las que estos nuevos migrantes deciden ocupar tales espacios rurales y la manera en que ellos se insertan en las comunidades campesinas preexistentes. Revisa, finalmente, los procesos de las comunidades intencionales en la ocupación de territorios y los efectos que ellas han generado en su configuración espacial.

Luego de presentar los resultados de una extensa revisión de literatura con estudios provenientes principalmente de Europa y Estados Unidos, la autora evidencia la ausencia de trabajos evaluativos de los efectos de estas

ecoaldeas en Colombia y, en consecuencia, planteó los objetivos de su trabajo que fundamentalmente se dirigieron a estudiar algunas características socioeconómicas de los migrantes urbanos hacia las comunidades intencionales de las tres ecoaldeas mencionadas, para conocer las principales motivaciones e incidencias ecosistémicas de las citadas comunidades en relación con la transformación de la Estructura Agroecológica Principal de las fincas.

Como se puede observar, el trabajo incluyó, por primera vez, la evaluación de la EAP como un proceso transformador de los territorios, porque algunas de estas ecoaldeas tienen historias de más de dos décadas en las respectivas zonas de asentamiento.

Una particularidad metodológica de esta tesis fue que, debido a problemas con el acopio y procesamiento de imágenes de percepción remota, el levantamiento de la EAP se logró formalizar a través de visitas de campo, entrevistas y encuestas con los participantes de las ecoaldeas. La autora apeló a la información histórica proveniente de estos instrumentos etnográficos, para reconstruir la ocupación de los predios y elaborar una cualificación de las modificaciones experimentadas por la EAP de cada una de estas ecoaldeas, a partir del momento mismo en que los terrenos fueron ocupados por los migrantes urbanos. De esta manera, la autora produjo un relato documentado de los cambios históricos de la EAP que resultó muy valioso a la hora de explicar los procesos culturales que incidieron en la transformación de las ecoaldeas y de sus zonas de influencia.

Así, por ejemplo, en términos de su conectividad con el paisaje, la autora logró determinar distintos orígenes y trayectorias de cada una de estas ecoaldeas (Tabla 44). A manera de resumen, en los párrafos siguientes se condensan las trayectorias de cada una de las tres ecoaldeas que recopiló Pinzón (2014).

Varsana (5 hectáreas), que fue fundada hace 40 años (1979) en una zona altamente intervenida dedicada en su mayor parte a la ganadería, se enfocó durante sus primeros 20 años a actividades agropecuarias en monocultivo, bajo los sistemas de la Revolución Verde. Además, en uno de sus linderos se construyó la autopista Bogotá – Medellín, que en los últimos años fue ampliada a cuatro carriles y que se convirtió en una barrera absoluta en términos de posibilidades de intercambios de fauna. No obstante, a partir del año 2000, la comunidad Vaishnava o Hare Krishna, a la cual pertenece esta ecoaldea, comenzó procesos de reforestación de sus linderos y de mejoramiento de la agrobiodiversidad a través de la siembra de árboles nativos y exóticos que reemplazaron a las anteriores praderas y a los cultivos transitorios preexistentes. Paralelamente se adquirió un predio vecino para proteger un nacimiento de agua y conectarse con un parche natural aislado. Sin embargo, dado que Varsana está rodeada de fincas ganaderas, su conectividad con la estructura del paisaje permanece aún muy baja.

Tabla 44. Variación en la conectividad del paisaje (CEEP) de tres ecoaldeas de Cundinamarca.

Ecoaldeas	Inicial	Actual	Diferencia	Descripción
Varsana	1	3	2	Predio inicial con pastizales; ampliación de autopista Bogotá – Medellín de 2 a 4 carriles en su límite norte; siembra de árboles nativos y exóticos en cercas vivas, huerta ecológica y numerosos pasillos de flores; compra de predio vecino que conecta parche natural de la cuenca del río Seco
El Retoño	3	8	5	Predio inicial con pastizales y dos quebradas como límite; reforestación, trabajo educativo y comunitario con vecinos y ciudadanos; ampliación de predios neorurales con fines conservacionistas; Red de Reservas Kunagua
Aldeafeliz	8	8	0	Predio inicial con cobertura arbórea; el río San Miguel, uno de sus límites, es un importante conector natural

(Fuente: modificado de Pinzón, 2014).

Las otras dos ecoaldeas, ubicadas en entornos menos intervenidos, poseían también trayectorias diferentes. Así, la ecoaldea El Retoño (3,5 hectáreas), que se instaló en el año 1998 (hace 22 años), se ubica en una zona de mayor humedad y precipitación pluvial y posee como linderos dos afluentes de la quebrada La Victoria, algunos de cuyos sectores fueron reforestados con especies nativas y otros se dejaron como barbechos en procesos de revegetalización hasta conformar unos conectores de alta biodiversidad. Lo anterior, sumado a una constante campaña de concientización y educación ambiental realizada por su fundador, generó un fuerte movimiento de migrantes que se unieron para comprar predios aledaños y conformar la Red de Reservas Kunagua, organización de vecinos comprometidos con la preservación de la cuenca del río Victoria, hábitat del oso perezoso. Este proceso de integración resultó en la mejora sensible de la conectividad externa de la ecoaldea con el paisaje y de una transformación significativa del territorio de su influencia.

Por su parte, la ecoaldea Aldeafeliz inició en el año 2006 (hace 14 años) en una zona cafetera, conocida en el país por su alta biodiversidad y conservación de coberturas vegetales, limita con el río San Miguel cuyas riberas están muy bien conservadas y se ubica cerca a El Tablazo, reserva natural de alta riqueza

ecosistémica. A partir de esta oferta de abundantes recursos hídricos y de vegetación natural conservada, un pequeño grupo de 8 a 12 personas, que compartían una misma visión del mundo, se organizaron en una figura legal y crearon una asociación sin ánimo de lucro a partir de la cual mantuvieron los espacios comunes con alta agrobiodiversidad y pudieron incidir en una CEEP también de valor elevado.

Los tres ejemplos anteriores fueron valorados en términos de la conectividad de las ecoaldeas con el paisaje y calificadas en cuanto su perspectiva histórica, lo que constituye un valioso aporte a la metodología porque implica que, en situaciones en donde se posean imágenes de sensores remotos que permitan realizar evaluaciones multitemporales, se podrán comprender muchos procesos de ocupación territorial y de cambios en los paisajes, acompañados de las valoraciones culturales que los explican.

Más allá del trabajo valorativo de los 10 criterios iniciales propuestos para medir la EAP, Pinzón (2014) planteó adicionalmente un concepto doble que fue aplicado con éxito en la valoración de la estructura agroecológica principal en estas comunidades rurales intencionales: el criterio de 'Conectividad Humana Interna' (CHI) y 'Externa (CHE)'.

En palabras de la autora, la CHI busca medir la variedad y solidez de las relaciones humanas al interior del predio. Una fuerte conectividad interna de los miembros de una comunidad, reunidos en torno a un proyecto común, sería garantía para procesos duraderos y estables. Esta trama relacional evita la interrupción o desaparición de los esfuerzos colectivos, al rodear a los individuos con círculos de confianza y amistad que pueden encontrar soluciones múltiples a dificultades de salud, sociales o económicas. A su vez, la CHE mide la conectividad relacional que cada ecoaldea ha generado alrededor de su experiencia. Esta trama posibilita intercambios informativos, trabajo común, alianzas de cooperación e intercambios de experiencias, que construyen a su vez procesos duraderos de transformación cultural y ecosistémica.

En desarrollo de su trabajo investigativo, la autora profundizó en las dinámicas organizativas de cada ecoaldea, que fueron diferentes entre sí aunque en todas ellas dominaba un espíritu común de convivencia. Todas ellas mejoraron en el aspecto de Conectividad Humana Interna (CHI) y sus dinámicas estaban enlazadas con un grupo religioso (Varsana, imbuida por el espíritu y la organización Hare Krisna), otro grupo seglar (Aldeafeliz, aglutinado en función de una asociación civilmente constituida) o con un proceso netamente individual (El Retoño).

Igual sucedió con el otro criterio propuesto y validado por la autora, la Conectividad Humana Externa (CHE), que en la medida en que valora las relaciones o el tejido social desarrollado por las ecoaldeas en sus áreas de influencia, muestra diferencias entre ellas (Tabla 45). En este sentido, las

ecoaldeas Retoño y Varsana, lograron incidir sustancialmente en sus áreas de influencia, en tanto que Aldeafeliz ha privilegiado la red social interna.

Los detalles de cada una de estas trayectorias pueden encontrarse en la tesis de la autora, pero lo que interesa resaltar acá es que Pinzón reorganizó la EAP en función de sus intereses investigativos, enfatizando especialmente en los aspectos de comunicación y organización, modificación válida a la hora de enlazar la EAP con objetivos disímiles de investigación.

Tabla 45. Conectividad Humana Interna de las tres ecoaldeas estudiadas.

Ecoaldeas	Conectividad Humana Interna			Descripción
	Inicial	Actual	Diferencia	
Varsana	3	10	7	Desde el inicio, apoyo del movimiento Vaishnava, tenencia de la tierra compartida. Actualmente en consolidación de comunidad
El Retoño	1	6	5	Tenencia de la tierra individual, comunidad al interior pequeña e inestable.
Aldeafeliz	1	10	9	Retroalimentación de movimiento ecoaldeano, tenencia de la tierra compartida. Actualmente en consolidación de comunidad.

(Fuente: modificado de Pinzón, 2014)

La EAP potencial y el ordenamiento territorial

Aunque en el momento de escribir estas líneas el grupo de trabajo del IDEA no ha realizado estudios específicos de aplicación de la EAP al ordenamiento territorial por diversos motivos, vale la pena incluir una corta reflexión sobre el uso de este índice a nivel de los agroecosistemas mayores y de las matrices de agroecosistemas en escalas de paisajes más pequeñas.

En primer lugar, la EAP potencial (EAPP) puede convertirse en un instrumento útil para planificar el uso de la finca desde un punto de vista ecosistémico. Esto, no porque se quiera indicar que los agricultores no planifican los usos de la tierra de manera rutinaria, sino porque, al incluir parámetros que van más allá del límite de la propiedad privada del agroecosistema —y al insistir en los conceptos de conectividad y de agrobiodiversidad—, la EAPP proporciona una mirada más amplia a la planificación corriente, la cual usualmente prioriza aspectos de mercado y tecnología. Así, en la Figura 41

se muestra un ejemplo ficticio de los posibles cambios (conectores internos) que se pueden incluir en la finca Gabeno ubicada en la Sabana de Bogotá (Colombia) para aumentar su conectividad y su EAP. La propuesta incluye sembrar una extensión de árboles nativos con flores, un banco permanente de arvenses y una red de conectores internos vivos, de unos 32 metros de ancho, con arbustos y vegetación herbácea espontánea.



Figura 41. Ejemplo ficticio del uso de la EAP potencial (EAPP) en la finca Gabeno (Cundinamarca); en verde se señalan los conectores internos potenciales que se proponen para incrementar la conectividad de la finca. (Fuente: elaboración propia).

Pero la EAP también se puede incluir en los procesos de ordenamiento del territorio. Ello implica un cambio de escala, desde las escalas más grandes (1:1.000 a 1:5.000 o 1:10.000) que son las que se manejan a nivel de las fincas, hasta escalas más pequeñas (1:25.000, 1:50.000 o 1:100.000) en las que usualmente trabajan los planificadores territoriales. Este cambio de escala interroga, igualmente, la composición de los 10 indicadores utilizados en la EAP.

De acuerdo con esta idea, a escala de paisaje resultaría muy difícil estudiar todas las fincas que se reúnen en una determinada matriz de agroecosistemas, por los obstáculos que debe enfrentar el investigador en relación con la visita a cada finca, su separación individual en mapas específicos, los recorridos para valorar la extensión o la diversificación de sus conectores

externos e internos, las encuestas y entrevistas que debería hacer para obtener información sobre las prácticas de manejo y de conservación, y sobre los grados de conciencia y de capacidad para la acción de cada propietario.

En lugar de ello, el cambio de escala exige pensar en una separación de conjuntos de fincas (matrices) que presenten homogeneidad en algunos atributos y que puedan separarse en las imágenes obtenidas en esas escalas pequeñas (atributos que podrían ser el tamaño de las fincas, la presencia o no de coberturas arbóreas, arbustales o herbazales, corredores biológicos y conectividad ecológica del paisaje), para formar unidades homogéneas, a partir de las cuales se puedan tomar algunas fincas representativas y ahí sí, detallar en ellas los diez criterios formulados en el cálculo de la EAP.

La Figura 42 presenta otro ejemplo ficticio de un paisaje en el cual se podrían separar tres conjuntos de fincas, tomadas *a priori* según la conectividad que muestra el paisaje. El primer grupo (perímetro en negro) presenta una matriz de agroecosistemas sin conexión con el paisaje y EAP débilmente desarrollada; el segundo grupo (perímetro en rojo) contiene fincas con EAP moderada e igualmente moderada conexión con la estructura ecológica del paisaje y, finalmente, el tercer grupo (perímetro en amarillo) representa una matriz de agroecosistemas con una EAP fuerte y muy conectada con la estructura ecológica circundante. En cada uno de estos conjuntos, se pueden seleccionar tres o más fincas representativas para adelantar en ellas la medición de los criterios que conforman la EAP y lograr, de esta manera, un acercamiento general a las condiciones de los agricultores. Los resultados del trabajo podrían ayudar a obtener mejores indicadores de los problemas que enfrentan los propietarios rurales en relación con el ordenamiento territorial de su respectivo ámbito de influencia, ya sea una vereda, una cuenca hidrográfica o un sector municipal, departamental o provincial.

**La Estructura Agroecológica
Principal de los agroecosistemas**



Figura 42. Ejemplo ficticio del uso de la EAP en el ordenamiento territorial. La imagen superior ilustra un paisaje sin incluir las fincas agupadas, mientras la fotografía inferior muestra un agrupamiento de tres matrices de agroecosistemas en función de distintas EAP. (*Fuente:* elaboración propia).

Capítulo 5

La Estructura Agroecológica Principal en el contexto de la agroecología y del pensamiento ambiental agrario

Toda ciencia requiere un objeto o un campo delimitado de trabajo. No obstante, establecer delimitaciones absolutas parece ser un propósito muy difícil de lograr en todas las ciencias y disciplinas. En muchas de ellas dominan los conjuntos borrosos, las intersecciones, los traslapes. Si ello es cierto para las denominadas 'ciencias duras' como la física y la química, lo es aún mucho más para las 'ciencias de la complejidad'.

Las ciencias que pretenden abarcar simultáneamente fenómenos que provienen de los órdenes humanos y no humanos, se abocan a dificultades epistemológicas fuertes, porque las múltiples variables en juego ofrecen plasticidades, rugosidades, límites, bordes y extensiones que cambian constantemente en juegos a veces incontrolables y no siempre bien comprendidos.

Esto es una característica de las ciencias ambientales, si es que alguna vez las comunidades académicas se ponen de acuerdo en si existen o no estas ciencias ambientales o en cuáles son sus características fundamentales. Pero aceptando que ellas existen, unas en las bases de los estudios meramente ecológicos y otras en los vértices de las interacciones antrópicas y en sus intersecciones, todas ellas se enfrentan al desafiante juego de la complejidad. Examínense, por ejemplo, los retos de la economía ecológica, la geología ambiental o la geografía humana, para citar solo unas cuantas.

Este mismo reto ha sido asumido por la agroecología, en tanto que ciencia de los agroecosistemas. Las acciones agrarias, que incluyen la producción de alimentos, el manejo animal, la conservación y uso de plantaciones forestales naturales, secundarias o artificiales y, en Colombia, las iniciativas piscícolas, se relacionan con muchísimas variables y parámetros ligados, no solo a las mismas características de esa producción y a los factores que la determinan, sino a los procesos de transformación, transporte, venta, consumo y disposición final. Estos procesos, bien puede decirse, van desde la semilla hasta el plato del consumidor y aún más allá, hasta los sistemas de reciclaje o de

disposición de desechos. Incluye las cadenas del ciclo de vida o *food supply chains*, como los denominan ahora los ingenieros ambientales.

Tales procesos tienen que ver, entre muchos otros aspectos, con la salud de los seres humanos y no humanos, con la legislación y las acciones de política pública y privada que las regulan, con el comercio internacional, con la geopolítica, con los territorios, con las disputas del poder militar, con las orientaciones de los aparatos nacionales de ciencia, con la generación de tecnologías, con la propiedad de la tierra, con la pobreza o la riqueza, el hambre o la abundancia, la avaricia o la generosidad. Así mismo, tiene que ver con el conocimiento generado por nosotros mismos.

Y es en este último aspecto en donde los estudios sobre descripción y caracterización de los agroecosistemas se tornan relevantes para los propósitos de este libro. Es claro que la generación propia de conocimientos está relacionada, tanto con académicos como con agricultores, bien sean ellos campesinos, indios, afros, raizales, rom, neorurales o agroindustriales.

Por un lado, parte de ese conocimiento autóctono de origen campesino —o que proviene de otros habitantes neorurales e incluso de agroindustriales convencidos del cambio de paradigma—, se relaciona con la innovación y difusión de prácticas agroecológicas que se dirigen a aumentar la eficiencia de la producción y a la conservación del agroecosistema en su integridad. Este concepto replantea el paradigma anterior que se restringía solamente a conservar los bienes o dones naturales. No. Se trata ahora de conservar y aumentar las características de resiliencia, productividad y estabilidad de los agroecosistemas mayores en su totalidad, incluyendo a los seres humanos que los habitan y manejan.

Vale acá una nota aclaratoria: aunque soportamos la idea de un conocimiento diferente, integrador y complejo, no podemos apartarnos de esa otra dimensión que predica la agroecología, es decir, su cuarta dimensión simbólica, que coloca las miradas para la comprensión del agroecosistema dentro de un marco diferente: el de los valores de respeto, solidaridad, generosidad, tolerancia y amor, cuando los humanos nos reconocemos como habitantes pasajeros de la tierra (León-Sicard, 2019).

Pero también hay otro grupo legítimo de conocimientos que deben afianzarse: el de aquellos referidos al agroecosistema *per se*, como objeto o campo de estudio. Se requiere que la agroecología, en tanto que ciencia, delimite y exponga sus principios teóricos y sus aplicaciones tecnológicas. Ello conduce, inevitablemente, a los sustentos mismos de la agroecología, es decir, a la delimitación de su objeto de estudio y a la descripción de sus particularidades.

Sin entrar en el debate de los límites de los agroecosistemas, físicos o biológicos unos, intangibles, simbólicos y culturales otros, este libro acepta un objeto o, si se quiere, un campo particular de estudio de la agroecología, delimitado física y culturalmente, que hemos denominado *agroecosistema mayor*

para darle un sello de identidad y para facilitar el intercambio de conocimientos entre personas interesadas en estudiar sus propiedades.

Pero los agroecosistemas mayores, aún si se aceptan como objetos ambientales de conocimiento agrario, varían fuertemente a lo largo del planeta, tanto en extensión como en forma, atributos, características o cualidades, aunque una cosa sí es segura: pertenece a alguien. Este alguien puede variar también y su rango se encuentra desde individuos propietarios hasta cooperativas, corporaciones, grupos familiares, clanes, castas o grupos étnicos, todo dependiendo de las reglamentaciones o derechos de propiedad establecidos a nivel nacional, que se expresan en figuras jurídicas protegidas y reguladas en cada país.

Aun así el concepto de 'agroecosistema mayor' (que coloca una diferencia con los 'agroecosistemas menores' o cultivos, plantaciones forestales o praderas para ganadería, que se encuentran al interior de ese agroecosistema mayor) sirve para tener una referencia más duradera en el tiempo, más estable y más precisa en términos jurídicos y socioeconómicos. Este agroecosistema mayor posee varias cualidades o características, una de las cuales es sin duda, su estructura.

Y aquí es donde el concepto de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) puede demostrar su valor como índice que se puede utilizar, en un primer momento, para caracterizar o describir a los agroecosistemas mayores.

Anotemos acá que si la agroecología persiste en considerar solo a los agroecosistemas menores como sus objetos de estudio, a la manera en que Robert Hart los definió en los años ochenta, estos agroecosistemas no tendrían estructura y su descripción prácticamente sería imposible dada la variedad de condiciones que les rigen. Estas condiciones se refieren a extensiones variables, duración diferencial en el tiempo (acordémonos que existen cultivos que solo tardan pocos meses para dar sus frutos, hasta cultivos de tardío crecimiento que pueden durar varios años o décadas en sus sitios de establecimiento), distintos sistemas tecnológicos que los acompañan e, incluso, inserciones diferenciales en los mercados y en las redes de comercio. Todo ello, sumado a las condiciones mismas propias de cada cultivo, harían muy difícil, si no imposible, levantar una ciencia general sobre estas referencias factuales.

La EAP sirve, como ya se enunció, para caracterizar en parte a los agroecosistemas mayores. En parte, porque una descripción completa debería incluir otras cualidades o características: tamaño, forma, condiciones geográficas, clima, relieve, tipos de suelos y, acaso lo más importante, los tipos de productores. Y aquí aparecen retos para la ciencia agroecológica, en el sentido de abordar o tipificar las acciones ambientales de los agricultores o de los propietarios de los agroecosistemas mayores.

Estas caracterizaciones complejas ya se han intentado en varias partes del mundo y con distintas aproximaciones. Lo que no se logra aún, completamente, es estandarizarlas en visiones o procedimientos universalmente aceptados por

la ciencia de la agroecología. Aclaremos esta afirmación: a pesar de los sucesivos artículos y de las abundantes reflexiones que se realizan desde diferentes ópticas sobre los procedimientos y metodologías que deben acompañar a la agroecología, todavía no hay consensos aceptados por las comunidades académicas agroecológicas sobre una definición aceptada de su objeto de estudio, sobre sus cualidades o atributos, sobre sus cualidades emergentes. En diferentes circunstancias, llamamos agroecosistema a entidades diferentes, y la incertidumbre sobre su denominación se traslada, a efectos prácticos, hacia aquellos aspectos de manejo que deben distinguir unos agroecosistemas de otros.

Razones para explicar estas indefiniciones hay muchas y algunas de ellas se esconden en la aparente debilidad de los aparatos de ciencia y tecnología latinoamericanas. Otras, en el apabullante poderío de la agricultura convencional que encuentra en el 'paradigma transgénico' una nueva vía de afianzamiento al interior del sistema capitalista. Otras, en la mayor complejidad inherente a la agricultura tropical que plantea enormes retos y desafiantes preguntas en torno a la agrobiodiversidad y su manejo, comenzando por su caracterización sistemática.

Todo ello para, en un futuro, intentar una taxonomía que ayude a entender las particularidades de agroecosistemas que existen en África y en Asia con aquellos otros de América o de Europa. Seguramente que esta taxonomía, aún sin desarrollar, tendrá suficientes retos y premios como para convertirse en algún momento en una rama autónoma de la agroecología.

Pero más allá de su utilidad como elemento identificador, descriptor y caracterizador de agroecosistemas, la EAP se puede convertir en una herramienta útil en la planificación territorial y en la predicción de comportamientos del agroecosistema en relación con calidad, niveles de fitosanidad, productividad o rendimientos económicos.

En las páginas anteriores hemos presentado, algunos ejemplos de estas aplicaciones. Cualquier individuo puede planificar el uso de su finca, atendiendo a la consolidación de la EAP, para asegurar la mayor cantidad posible de interrelaciones y, al mismo tiempo, la menor cantidad posible de intervenciones. La agrobiodiversidad, compleja en sí misma, provee al agricultor no solo los de los materiales para abonar continuamente sus suelos y mantener la fertilidad edáfica, sino de recursos para controlar a los herbívoros plagas o a los transmisores de enfermedades. Por supuesto que ello dependerá de la aplicación de los principios generales de la agroecología y de la capacidad individual para establecer una EAP funcionalmente adecuada.

Pero la planificación puede trascender el límite de los agroecosistemas mayores o fincas individuales. Hasta el presente, en las agencias estatales domina la visión de la planificación realizada por técnicos especializados en suelos, cuencas hidrográficas o en ordenamientos territoriales, que se basan

especialmente en la aplicación de ideas que provienen de sus conocimientos de geología, geomorfología, suelos, clima y actividades productivas en escalas pequeñas, de municipios, departamentos o regiones dentro de cada país.

Estos técnicos por lo general realizan sus trabajos a partir de mapas pre-existentes en escalas pequeñas, que se complementan con algunas visitas de reconocimiento al campo o incluso con sesiones de talleres y entrevistas con algunos actores locales, cuando los presupuestos y los ajustados tiempos burocráticos lo permiten. Desafortunadamente, incluso cuando se hacen los mejores esfuerzos, tales iniciativas resultan muy limitadas para comprender a cabalidad la compleja realidad de ambiental de los territorios.

En esas instancias poco o nada se reconoce la existencia física y real de comunidades campesinas o de agricultores de distintas características que, por lo general, no se materializan en los mapas de planificación. Como si no existieran.

La EAP permite materializar y visibilizar tanto a las fincas en sí mismas, como a los agricultores, cuyas decisiones son fundamentales para organizar el territorio en esas escalas de menor dimensión.

Cada vez que un agricultor entiende la importancia de manejar sus predios o zonas de cultivo a través del aumento planificado de su agrobiodiversidad y, en consecuencia, reemplaza monocultivos por policultivos, incluye parches de bosque en su finca, siembra cercas vivas en lugar de instalar postes de cemento y alambre, y protege las rondas de sus quebradas internas, este agricultor estará contribuyendo a la formación de una estructura ecológica en el paisaje que favorecerá todos los procesos comunitarios de protección de cuencas, suelos y aguas, al igual que estará mejorando las condiciones de vida para él, su familia, sus vecinos y los consumidores de sus productos. La contribución de la EAP a este proceso, es el de visibilizarlo en los niveles de vereda, microcuenca, cuenca o municipio. El deber de los planificadores territoriales es incluir la EAP en sus análisis, porque con ella se visibiliza a los propietarios de predios y se cambia la visión del planificador ubicado por encima o muy distante de la zona, a la del planificador trabajando con las comunidades en las escalas de la finca.

Igualmente, corresponde a los agroecólogos demostrar que, a mayores niveles de EAP, los agroecosistemas presentan mejores condiciones de sanidad vegetal, de rendimientos, de estabilidad o de resiliencia ante distintos tipos de disturbio. En este libro hemos presentado evidencias que ya lo insinúan, pero se requieren investigaciones de detalle para comprobar efectos específicos en organismos benéficos, en el control de organismos que afectan las cosechas, en la conservación de suelos y aguas, en el reciclaje de nutrientes, en la estabilidad de los agroecosistemas, en su resiliencia frente a inundaciones, sequías y movimientos en masa o en sus aportes a la salud, al empleo y al bienestar de las poblaciones rurales. En suma, un programa de trabajo.

Referencias

- Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D., Jones, D., Evans, C., Jones, M., Rees, R., Smith, P., 2018. Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 253, 62-81. DOI: 10.1016/j.agee.2017.10.023
- Acevedo-Osorio, Á., Chohan, J., 2019. Agroecology as social movement and practice in Cabrera's peasant reserve zone, Colombia. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 44, 331-351. DOI: 10.1080/21683565.2019.1623359
- Ahn, H., 1998. Speculation in the financial system as a 'Dissipative structure'. *Seoul J. Econ.* 11(3), 295-319.
- Albrecht, A., Kandji, S., 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 99, 15-27. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00138-5
- Almendo, M., Weber, D., 2012. Dissipative processes in psychology: From the psyche to totality. *Int. J. Transpers. Stud.* 31(2), 1-22. DOI: 10.24972/ijts.2012.31.2.1
- Altieri, M., 1987. *Agroecology. The scientific basis of alternative agriculture.* Wetsview Press; Boulder-IT Publications, Londres.
- Altieri, M., 1989. Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 27, 37-46. DOI: 10.1016/0167-8809(89)90070-4
- Altieri, M., 1994. Sustainable agriculture. En: Arntzen, C., Ritter, E. (Eds.), *Encyclopedia of Agricultural Science.* Vol. 4. Academic Press, San Diego, CA. pp. 239-247.
- Altieri, M., 1995a. *Agroecology: the science of sustainable agriculture.* 2a ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Altieri, M., 1995b. El estado del arte de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. En: Cadenas, A. (Ed.), *Agricultura y desarrollo sostenible.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid. pp. 151-203.
- Altieri, M., 1999a. *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable.* Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo; Sustainable Agriculture Networking and Extension (SANE); UNDP, New York.
- Altieri, M., 1999b. Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environ. Dev. Sustain.* 1, 197-217. DOI: 10.1023/A:1010078923050

- Altieri, M., 1999c. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74, 1931. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00028-6
- Altieri, M., 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En: Sarandón, S. (ed.), *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina. pp. 49-56.
- Altieri, M., Nicholls, C., 2000. *Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture*. United Nations Environment Programme, México, DF.
- Altieri, M., Nicholls, C., 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. 2a ed. CRC Press, Boca Raton, FL. DOI: 10.1201/9781482277937
- Altieri, M., Koochafkan, P., Giménez, E., 2012. Agricultura verde: fundamentos agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos. *Agroecología* 7(1), 7-18.
- Altieri, M., Nicholls, C., 2007. *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. Icaria Editorial, Barcelona, España.
- Altieri, M., Toledo, V., 2011. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *J. Peasant Stud.* 38, 587-612. DOI: 10.1080/03066150.2011.582947
- Andrade, H., Segura, M., 2016. Dinámica de la sombra de *Cordia Alliodora* en sistemas agroforestales con café en Tolima, Colombia. *Agron. Costarric.* 40, 77-86. DOI: 10.15517/rac.v40i2.27387
- Ángel, A., 1993. *La trama de la vida. Bases ecológicas del pensamiento ambiental*. Ministerio de Educación Nacional de Colombia; Ministerio del Medio Ambiente; Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.
- Ángel, A., 1995. *La fragilidad ambiental de la cultura*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Ángel, A., 1996. *El reto de la vida. Ecosistema y cultura: Una introducción al estudio del medio ambiente*. Ecofondo, Bogotá.
- Ángel, A., 2000. *La aventura de los símbolos. Una visión ambiental de la historia del pensamiento*. Serie Construyendo el futuro Vol. 5. Ecofondo, Bogotá.
- Arias, P., 2017. *Integrating plural values in ecosystem services valuation: An ecological economics approach*. Tesis de doctorado. Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Ariga, E., 1997. Availability and role of multipurpose trees and shrubs in sustainable agriculture in Kenya. *J. Sustain. Agric.* 10, 25-35. DOI: 10.1300/J064v10n02_05
- Arístide, P., 2015. Caracterización de bordes de cultivos en agroecosistemas campesinos del Chaco semiárido (Santiago del Estero, Argentina). *Fronteras* 13(13), 47-52.
- Avellaneda-Torres, M., León, T., Guerra, E., Torres, E., 2020. Potato cultivation and livestock effects on microorganism functional groups in soils from the

- neotropical high Andean Páramo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 44, e0190122. DOI: 10.36783/18069657rbcs20190122
- Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M., Batjes, N., Mäder, P., Bünemann, E., de Goede, R., Russaard, L., Xu, M., Ferreira, C., Reintam, E., Fan, H., Mihelic, R., Glavan, M., Tóth, Z., 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 265, 1-7. DOI: 10.1016/j.agee.2018.05.028
- Barnes, T., 1999. Landscape ecology and ecosystems management. FOT-76. Cooperative Extension Service, University of Kentucky, College of Agriculture. Disponible en: <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/for/for76/for76.pdf>
- Barrantes, C., Siura, S., Castillo, E., Huarcaya, M., Rado, J., 2018. Manual para el análisis de la sostenibilidad de sistemas de producción de la agricultura familiar. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Lima.
- Baudron, F., Jaleta, M., Okitoi, O., Tegegn, A., 2014. Conservation agriculture in African mixed crop-livestock systems: Expanding the niche. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 171-182. DOI: 10.1016/j.agee.2013.08.020
- Bazykin, A., Khibnik, A., Aponina, E., 1983. A model of evolutionary appearance of dissipative structure in ecosystems. *J. Math. Biol.* 18, 13-23. DOI: 10.1007/BF00275907
- Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. *Conservando los Ecosistemas Boscosos Serie No 1*. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, UK.
- Blanco, Y., Leyva, Á., 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospedadoras de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales* 28, 21-28.
- Blanco, J., Pascal, L., Ramon, L., Vandenbroucke, H., Carrière, S., 2013. Agrobiodiversity performance in contrasting island environments: The case of shifting cultivation in Vanuatu, Pacific. *Agric. Ecosyst. Environ.* 174, 28-39. DOI: 10.1016/j.agee.2013.04.015
- Blango, M., Cooke, R., Moiwo, J., 2019. Effect of soil and water management practices on crop productivity in tropical inland valley swamps. *Agric. Water Manag.* 222, 82-91. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.05.036
- Bornemissza, G., 1976. Australian dung beetle project 1965-75. AMRC Review. Australian Meat Research Committee 30, 1-30.
- Bornemissza, G., Williams, C., 1970. An effect of dung beetle activity on plant yield. *Pedobiologia* 10, 1-7.
- Brouder, S., Gomez-Macpherson, H., 2014. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 11-32. DOI: 10.1016/j.agee.2013.08.010
- Budowski, G., Russo, R., 1993. Live fence posts in Costa Rica: A compilation of the farmer's beliefs and technologies. *J. Sustain. Agric.* 3(2), 65-87. DOI: 10.1300/J064v03n02_07

- Bukovinszky, T., Verheijen, J., Zwerver, S., Klop, E., Biesmeijer, J., Wäckers, F., Kleijn, D., 2017. Exploring the relationships between landscape complexity, wild bee species richness and reproduction, and pollination services along a complexity gradient in the Netherlands. *Biol. Conserv.* 214, 312-319. DOI: 10.1016/j.biocon.2017.08.027
- Burchfield, E., Nelson, K., Spangler, K., 2019. The impact of agricultural landscape diversification on U.S. crop production. *Agric. Ecosyst. Environ.* 285, 106615. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106615
- Burel, 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Rev. Plant Sci.* 15, 169-190. DOI: 10.1080/07352689.1996.10393185
- Calderón, C., Jerónimo, C., Praun, A., Reyna, J., Santos Castillo, I., León, R., Prado, J., 2018. Agroecology-based farming provides grounds for more resilient livelihoods among smallholders in Western Guatemala. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 42, 1128-1169. DOI: 10.1080/21683565.2018.1489933
- Calfapietra, C., Gielen, B., Karnosky, D., Ceulemans, R., Scarascia, G., 2010. Response and potential of agroforestry crops under global change. *Environ Pollut.* 158(4), 1095-1104. DOI: 10.1016/j.envpol.2009.09.008
- Calvet-Mir, L., Gómez-Baggethun, E., Reyes-García, V., 2012. Beyond food production: Ecosystem services provided by home gardens. A case study in Vall Fosca, Catalan Pyrenees, Northeastern Spain. *Ecol. Econ.* 74, 153-160. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.12.011
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B., Dupraz, C., Chenu, C., 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agric. Ecosyst. Environ.* 236, 243-255. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.011
- Caro-Caro, C. Torres-Mora, M., 2015. Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia* 19(2), 237-252. DOI: 10.22579/20112629.338
- Casanova, L., Martínez, J., López, S., López, G., 2016. De von Bertalanffy a Luhmann: deconstrucción del concepto "agroecosistema" a través de las generaciones sistémicas. *Rev. Mad.* 35, 60-74 DOI: 10.5354/0718-0527.2016.42797
- Cepeda-Valencia, J., Gómez, D., Nicholls, C., 2014. La estructura importa: abejas visitantes del café y Estructura Agroecológica Principal (MAS) en cafetales. *Rev. Colomb. Entomol.* 40(2), 241-250.
- Chará, J., Murgueitio, E. 2005. The role of silvopastoral systems in the rehabilitation of Andean stream habitats. *Livest. Res. Rural Dev.* 17(2), disponible en: <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd17/2/char17020.htm>; consultado: mayo de 2020.
- Chou, C.-H. 1990. The role of allelopathy in agroecosystems: Studies from tropical Taiwan. En: Gliessman, S. (Ed.), *Agroecology. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. Vol. 78. Springer, New York, NY. pp. 104-121. DOI: 10.1007/978-1-4612-3252-0_7

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- Christensen, N., Bartuska, A., Brown, J., Carpenter, F., D'Antonio, C., Francis, R., Franklin, J., MacMahon, J., Noos, R., Parson, D., Peterson, C., Turner, M., Woodmansee, R., 1996. The report of the ecological society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecol. Appl.* 6(63), 665-691. DOI: 10.2307/2269460
- Clavijo, N., 2018. Cultura y conservación *in situ* de tubérculos andinos marginados en agroecosistemas de Boyacá: un análisis de su persistencia desde la época prehispánica hasta el año 2016. *Cuad. Desarro. Rural* 14(80). DOI: 10.11144/Javeriana.cdr14-80.ccst
- Clavijo, N., 2019. Tubérculos andinos en agroecosistemas tradicionales de tres municipios del departamento de Boyacá. Un análisis de su conservación *in situ*, desde las dimensiones ecosistémica y cultural de la agroecología. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Clavijo, N., Combariza, J., Barón, M., 2012. Recognizing rural territorial heritage: Characterization of Andean tuber production systems in Boyacá. *Agron. Colomb.* 29(2), 315-322.
- Clavijo, N., Pérez, M., 2014. Tubérculos andinos y conocimiento agrícola local en comunidades rurales de Ecuador y Colombia. *Cuad. Desarro. Rural* 2(74), 149-166.
- Cleves, J., Jarma, J., 2014. Characterization and typification of citrus production systems in the department of Meta-Colombia. *Agron. Colomb.* 32(1), 113-121. DOI: 10.15446/agron.colomb.v32n1.42164
- Cleves-Leguízamo, A., 2018. Resiliencia de agroecosistemas cítricos a la variabilidad climática en el departamento del Meta, Colombia. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Cleves-Leguízamo, A., León-Sicard, T., Toro, J., 2019. Metodologías para la evaluación de la agrobiodiversidad en sistemas agrícolas: atributos ecosistémicos y culturales. Editorial Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Cleves-Leguízamo, J., Toro-Calderón, J., Martínez-Bernal, L., León-Sicard, T., 2017. La Estructura Agroecológica Principal (EAP): novedosa herramienta para planeación del uso de la tierra en agroecosistemas. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 11(2), 441-449. DOI: 10.17584/rcch.2017v11i2.7350
- Connelly, H., Poveda, K., Loeb, G., 2015. Landscape simplification decreases wild bee pollination services to strawberry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 211, 51-56. DOI: 10.1016/j.agee.2015.05.004
- Corbeels, M., de Graaff, J., Ndah, T., Penot, E., Baudron, F., Naudin, K., Adolwa, I., 2014. Understanding the impact and adoption of conservation agriculture in Africa: A multi-scale analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 155-170. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.011
- Córdoba, C., Hortúa, S., León-Sicard, T., 2019. Resilience to climate variability: the role of perceptions and traditional knowledge in the Colombian Andes. *Agric. Ecol. Sustain. Food Syst.* 44, 419-445. DOI: 10.1080/21683565.2019.1649782

- Córdoba, C., León-Sicard, T., 2013. Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca-Colombia). *Agroecología* 8, 21-32.
- Cusser, S., Neff, J., Jha, S., 2016. Natural land cover drives pollinator abundance and richness, leading to reductions in pollen limitation in cotton agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 226, 33-42. DOI: 10.1016/j.agee.2016.04.020
- Dai, J., Chen, B., Hayat, T., Alsaedi, A., Ahmad, B., 2015. Sustainability-based economic and ecological evaluation of a rural biogas-linked agro-ecosystem. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41, 347-355. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.043
- Daniels, S., Witters, N., Beliën, T., Vrancken, K., Vangronsveld, J., Van Passel, S., 2017. Monetary valuation of natural predators for biological pest control in pear production. *Ecol. Econ.* 134, 160-173. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2016.12.029
- Daza, Y., 2020. Apropiación humana de la producción primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- de Boef, W., Thijssen, M., Shrestha, P., Subedi, A., Feyissa, R., Gezu, G., Sthapit, B., 2012. Moving beyond the dilemma: Practices that contribute to the On-Farm management of agrobiodiversity. *J. Sustain. Agric.* 36(7), 788-809. DOI: 10.1080/10440046.2012.695329
- Deng, X., Zheng, S., Xu, P., Zhang, X., 2017. Study on dissipative structure of China's building energy service industry system based on brusselator model. *J. Clean. Prod.* 150, 112-122. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.198
- Donkersley, P., 2019. Trees for bees. *Agric. Ecosyst. Environ.* 270-271, 79-83. DOI: 10.1016/j.agee.2018.10.024
- Duelli, P., Obrist, M., Schmatz, D., 1999. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: Above-ground insects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74, 33-64. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00029-8
- Emig, C., 1985. Relations entre l'espèce, structure dissipatrice biologique, et l'écosystème, structure dissipatrice écologique. Contribution à la théorie de l'évolution des systèmes non-en équilibre. *C. R. Acad. Sci.* 8, 323-326.
- Enríquez, M., Sáenz, J., Ibrahim, M., 2009. Gremios de aves en agroecosistemas del Pacífico Central de Costa Rica y su importancia para la conservación. *Rev. Cienc. Ambient.* 38(2), 26-32. DOI: 10.15359/rca.38-2.5
- Espinoza-Núñez, L., 2017. Evaluación de servicios ambientales de sistemas agroforestales con café (*Coffea* spp.) y cacao (*Theobroma cacao*) en tres fincas del municipio El Tuma-La Dalia, Matagalpa. Trabajo de grado. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Nacional Agraria, Managua.
- FAO, 1992. Cultivos marginados, otra perspectiva desde 1492. Roma.
- FAO, 2017. Regional workshop on neglected and underutilized species for zero hunger: Status, Progress and Way Forward. Roma.

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- Fernández, M., Méndez, V., 2019. Subsistence under the canopy: Agrobiodiversity's contributions to food and nutrition security amongst coffee communities in Chiapas, Mexico. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 43(5), 579-601. DOI: 10.1080/21683565.2018.1530326
- Florian, E., Harvey, C., Finegan, B., Benjamin, T., Soto, G., 2010. Efecto de la complejidad estructural y el contexto paisajístico en la avifauna de sistemas agroforestales cafeteros dentro del corredor biológico Volcánica Central-Talamanga, Costa Rica. *Mesoamérica* 14(3), 67-74.
- Forman, R., Godron, M., 1986. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, Nueva York, NY.
- Forman, R., Baudry, J., 1984. Hedgerows and hedgerows networks in landscape ecology. *Environ. Manage.* 8, 495-510. DOI: 10.1007/BF01871575
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., Poincelot, R., 2003. *Agroecology: the ecology of food systems*. *J. Sustain. Agric.* 22, 99-118. DOI: 10.1300/J064v22n03_10
- Gabriel, J., Quemada, M., Martín-Lammerding, D., Vanclooster, M., 2019. Assessing the cover crop effect on soil hydraulic properties by inverse modelling in a 10-year field trial. *Agric. Water Manag.* 222, 62-71. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.05.034
- Gallardo-López, F., Hernández-Chontal, M., Cisneros-Saguilán, P., Linares-Gabriel, A., 2018. Development of the concept of agroecology in Europe: A review. *Sustainability* 10, 1210. DOI: 10.3390/su10041210
- Garbach, K., Martínez-Salinas, A., DeClerck, F., 2010. The importance of management: Contribution of live fences to maintaining bird diversity in agricultural landscapes. *Mesoamérica* 14(3), 53-66.
- Garibaldi, L., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J., Bommarco, R., Cunningham, S., Klein, A., 2011. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecol. Lett.* 14(10), 1062-1072. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x
- Gill, B., 1991. Dung beetles in tropical american forests. En: Hanski, I., Cambefort, Y. (eds.), *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Princeton. pp. 211-229. DOI: 10.1515/9781400862092.211
- Gliessman, S. (ed.), 1990. *Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer-Verlag, New York. DOI: 10.1007/978-1-4612-3252-0_1
- Gliessman, S., 1995. Sustainable agriculture: an agroecological perspective. *Adv. Plant Pathol.* 11, 45-57. DOI: 10.1016/S0736-4539(06)80005-X
- Gliessman, S., 1998. *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Gliessman, S., 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Gliessman, S., 2013. *Agroecología: Plantando las raíces de la resistencia*. *Agroecología* 8, 19-26.

- Gliessman, S., Engles, E., Krieger, R., 1998. Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Gliessman, S., Friedmann, H., Howard, P., 2019. Agroecology and food sovereignty. *Polit. Econ. Food.* 50, 91-111. DOI: 10.19088/1968-2019.120
- Gliessman, S., Rosado-May, F., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V., Jaffe, R., 2007. Agroecología: Promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas* 16, 13-23.
- Gómez, L., Ríos-Osorio, L., Eschenhagen, M., 2015. Las bases epistemológicas de la agroecología. *Agrociencia* 49(6), 679-688.
- González, M., 1992. Agroecología: bases teóricas para una historia agraria alternativa. *Agroecol. Desarro.* 4, 22-31.
- Griffon, D., 2008. Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología* 3, 25-31.
- Gutiérrez, E., 1995. Barreras vivas de conservación de suelos, para pequeños agricultores de laderas; evaluación técnica económica. Trabajo de grado. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.
- Guzmán, G., González, M., Sevilla, E., 2000. Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Guzmán, E., Woodgate, G., 2013. Agroecología: Fundamentos del pensamiento social agrario y teoría sociológica. *Agroecología* 8(2), 27-34.
- Halfpter, G., Matthews, E., 1966. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomol. Mex.* 12/14, 1-312.
- Hanna, S., Osborne-Lee, I., Cesaretti, G., Misso, R., Khalil, M., 2016. Ecological agro-ecosystem sustainable development in relationship to other sectors in the economic system, and human ecological footprint and imprint. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 8, 17-30. DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.004
- Hart, R., 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Harvey, C., Komar, O., Chazdon, R., Ferguson, B., Finegan, B., Griffith, D., Wishnie, M., 2008. Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conserv. Biol.* 22, 8-15. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2007.00863.x
- Hecht, S., 1999. La evolución del pensamiento agroecológico. En: Altieri, M. (ed.), *La agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordand-Comunidad, Montevideo.
- Hergoualc'h, K., Blanchart, E., Skiba, U., Hénault, C., Harmand, J., 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agric. Ecosyst. Environ.* 148, 102-110. DOI: 10.1016/j.agee.2011.11.018

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- Hijbeek, R., Pronk, A., van Ittersum, M., Verhagen, A., Ruyschaert, G., Bijttebier, J., ten Berge, H., 2019. Use of organic inputs by arable farmers in six agro-ecological zones across Europe: Drivers and barriers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 275, 42-53. DOI: 10.1016/j.agee.2019.01.008
- Hurtado, L., Núñez, A., Quintana, G., Rodríguez, Y., 2006. Actividad de los enemigos naturales de plagas en barreras vivas asociadas con tabaco. *Centro Agrícola* 33, 45-50.
- Iglesias, A., Garrote, L., 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agric. Water Manag.* 155, 113-124. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.03.014
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 2019. Censo pecuario. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>; consultado: enero de 2020.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá.
- Instituto de Estudios Ambientales, Hidrología y Meteorología de Colombia (IDEAM), 1990. Metodología Corine Land Cover (CLC). Disponible en: <http://www.cambioclimatico.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-Corine-land-cover>; consultado: enero de 2020.
- Isbell, F., Adler, P., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., Scherer-Lorenzen, M., 2017. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *J. Ecol.* 105, 871-879. 10.1111/1365-2745.12789
- Jönsson, A., Ekroos, J., Dänhardt, J., Andersson, G., Olsson, O., Smith, H., 2015. Sown flower strips in southern Sweden increase abundances of wild bees and hoverflies in the wider landscape. *Biol. Conserv.* 184, 51-58. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.12.027
- Kassa, H., Dondeyne, S., Poesen, J., Frankl, A., Nyssen, J., 2017. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks: the case of the Gacheb catchment in the White Nile Basin, Ethiopia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 247, 273-282. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.034
- Kirkegaard, J., Conyers, M., Hunt, J., Kirkby, C., Watt, M., Rebetzke, G., 2014. Sense and nonsense in conservation agriculture: Principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 133-145. DOI: 10.1016/j.agee.2013.08.011
- Klein, A., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2003. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *J. Appl. Ecol.* 40(5), 837-845. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2003.00847.x
- Knox, O., Leake, A., Walker, R., Edwards, A., Watson, C., 2011. Revisiting the multiple benefits of historical crop rotations within contemporary UK agricultural systems. *J. Sustain. Agric.* 35, 163-179. DOI: 10.1080/10440046.2011.539128

- Landis, D., 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic Appl. Ecol.* 18, 1-12. DOI: 10.1016/j.baae.2016.07.005
- Lasco, R., Delfino, R., Catacutan, D., Simelton, E., Wilson, D., 2014. Climate risk adaptation by smallholder farmers: The roles of trees and agroforestry. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 6(1), 83-88. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.11.013
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P., Dedieu, B., 2014. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 4-8. DOI: 10.1016/j.agee.2013.08.009
- León-Sicard, T., 2010. Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. En: León-Sicard, T., Altieri, M. (eds.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología, Bogotá, DC. pp. 53-77.
- León-Sicard, T., 2014. Perspectiva ambiental de la agroecología: la ciencia de los agroecosistemas. Serie Ideas No. 23. Instituto de Estudios Ambientales-IDEA, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- León-Sicard, T., 2018. The symbolic dimension of agroecology. *Agric. Res. Tech.* 13, 555887.
- León-Sicard, T., 2019. La dimensión simbólica de la agroecología. *Rev. Fca. Cienc. Agrar.* 51, 395-400.
- León-Sicard, T., Mendoza, T., Córdoba, C., 2011. La Estructura Agroecológica Principal de la Finca (EAP): un concepto útil en agroecología. En: *Memorias Tercer Congreso Latinoamericano de Agroecología*. Universidad Autónoma de Chiapas; Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología, Oaxtepec, México.
- León-Sicard, T., Mendoza, T., Córdoba, C., 2014. La Estructura Agroecológica Principal de la Finca (EAP): un concepto útil en agroecología. *Agroecología* 9, 55-66.
- León-Sicard, T., Toro, J., Martínez, L., Cleves-Leguízamo, A., 2018. The Main Agroecological Structure (MAS) of the agroecosystem: Concept, methodology and applications. *Sustainability* 10, 3131. DOI: 10.3390/su10093131
- León-Sicard, T., Vargas-Ríos, O., 2017. Agroecología y restauración ecológica: dos disciplinas que se encuentran en el paisaje. *Flora Capital* 14, 15-21.
- Lepsch, H., Brown, P., Peterson, C., Gaudin, A., Khalsa, S., 2019. Impact of organic matter amendments on soil and tree water status in a California orchard. *Agric. Water Manag.* 222, 204-212. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.06.002
- Liere, H., Jha, S., Philpott, S., 2017. Intersection between biodiversity conservation, agroecology, and ecosystem services. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 41, 723-760. DOI: 10.1080/21683565.2017.1330796
- Lin, B., 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agric. For. Meteorol.* 150, 510-518. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.11.010

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- Loucks, O., 1977. Emergence of research on agro-ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. System.* 8, 173-192. DOI: 10.1146/annurev.es.08.110177.001133
- Lozano, A., 2019. Resiliencia de agroecosistemas campesinos a la variabilidad climática en tres municipios de Boyacá, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Lucco, M., 2019. Saberes ancestrales y autonomía alimentaria en fincas de agricultura familiar campesina en tres municipios de Boyacá, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- MacLaughlin, A., Mineau, P., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 55, 201-212. DOI: 10.1016/0167-8809(95)00609-V
- Marchesini, V., Sobrino, J., Hidalgo, M., Di Bella, C., 2009. La eliminación selectiva de vegetación arbustiva en un bosque seco de Argentina y su efecto sobre la dinámica de agua. *Rev. Teledet.* 31, 93-102.
- Marchettini, N., Del Giudice, E., Voeikov, V., Tiezzi, Y., Water, E., 2010. A medium where dissipative structures are produced by a coherent dynamics. *J. Theor. Biol.* 265, 511-516. DOI: 10.1016/j.jtbi.2010.05.021
- Martínez, A., 2014. Adopción y permanencia de la agricultura ecológica: Razones y motivaciones de los agricultores ecológicos de guasca, anolaima y ventaquemada. Tesis de maestría. Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Martínez, H., Carlsson, G., 1974. Genetic nets and dissipative structures: An algebraic approach. *Bull. Math. Biol.* 36, 183-196. Doi: 10.1007/BF02458602
- Martínez-Chamorro, C., 2018. Reflexiones epistémicas sobre la realidad agroecológica local y regional. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Veterin.* 7, 50-66.
- Martínez-García, L., Korthals, G., Brussaard, L., Jørgensen, H., De Deyn, G., 2018. Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agric. Ecosyst. Environ.* 263, 7-17. DOI: 10.1016/j.agee.2018.04.018
- Martínez-Salinas, A., Declerck, F., 2010. El papel de los agroecosistemas y bosques en la conservación de aves dentro de corredores biológicos. *Rev. Mesoam.* 14(3), 35-50.
- Martínez-Zepeda, C., 2019. Barreras vivas, una práctica de restauración en un paisaje agrícola de la microcuenca Buenavista, Querétaro. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Martins, K., Gonzalez, A., Lechowicz, M., 2015. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 12-20. DOI: 10.1016/j.agee.2014.10.018
- Masera, O., Astier, M., López-Ridaura, S., 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, México, DF.

- Maturana, H., Varela, F., 2004. De máquinas y seres vivos: autopoiesis: la organización de lo vivo. LUMEN, Buenos Aires. pp. 73-74.
- Mbow, C., Van Noordwijk, M., Luedeling, E., Neufeldt, H., Minang, P., Kowero, G., 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Environ. Sustain.* 6(1), 61-67. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.10.014
- McCune, N., Rosset, P., Cruz, T., Morales, H., Saldívar, A., 2017. The long road: Rural youth, farming and agroecological formación in central America. *Mind, Culture, and Activity* 24(3), 183-198. DOI: 10.1080/10749039.2017.1293690
- Meadows, S., 2012. Can birds be used as tools to inform resilient farming and environmental care in the development of biodiversity-friendly market accreditation systems? Perspectives of New Zealand sheep and beef farmers. *J. Sustain. Agric.* 36, 759-787. DOI: 10.1080/10440046.2012.672375
- Mejía, M., 1995. *Agriculturas para la vida. Movimientos alternativos frente a la agricultura química.* Fundación LED; Asociación para la cooperación y el desarrollo Liechtenstein (CEPROID); Corporación para la Educación Especial, Cali, Colombia.
- Melgarejo, V., 2019. *Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica.* Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Méndez, V., Bacon, C., Cohen, R., 2013. La agroecología como un enfoque transdisciplinar, participativo y orientado a la acción. *Agroecología* 8(2), 9-18.
- Mier, M., Cacho, T., Giraldo, O., Aldasoro, M., Morales, H., Ferguson, B., Rosset, P., Khadse, A., Campos, C., 2018. Bringing agroecology to scale: key drivers and emblematic cases. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 42, 637-665. DOI: 10.1080/21683565.2018.1443313
- Mueller-Warrant, G., Griffith, S., Whittaker, G., Banowetz, G., Pfender, F., Garcia, T., Giannico, G., 2012. Impact of land use patterns and agricultural practices on water quality in the Calapooia River Basin of western Oregon. *J. Soil Water Conserv.* 67, 183-201. DOI: 10.2489/jswc.67.3.183
- Munyuli, T., 2011. Pollinator biodiversity in Uganda and in Sub-Sahara Africa: Landscape and habitat management strategies for its conservation. *Int. J. Biodiv. Conserv.* 3, 551-609.
- Murgueitio, E., 2003. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livest. Res. Rural Dev.* 15,
- Murgueitio, E., 2009. Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. *Avances en Investigación Agropecuaria* 13, 3-19.
- Murgueitio, M., 2020. *Evaluación de un modelo agrobiodiverso de ganadería no convencional en cuanto a resiliencia a la variabilidad climática en sistemas asociados a SSP para bosque húmedo tropical (bh-T).* Tesis de doctorado. Programa de Doctorado en Agroecología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- Murgueitio, E., Barahona, R., Rosales, J., Chará, J., Xochitl, M., Martins, R., 2015. Los Sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina alternativa sostenible para enfrentar el cambio climático en la ganadería. *Cuban J. Agric. Sci.* 49, 541-554.
- Murgueitio, E., Cuartas, C., Naranjo, J., Córdoba, C., Rueda, O., 2010. Hacienda El Porvenir, ejemplo de reconversión productiva. FEDEGAN; SENA, Bogotá, DC.
- Murgueitio, E., Ibrahim, M., 2001. Agroforestería pecuaria para la reconversión de la ganadería en Latinoamérica. *Livest. Res. Rural Dev.* 13, disponible en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/3/murg133.htm>
- Murgueitio, E., Rivera, J., Peri, P., Castaño, K., 2017. Sistemas silvopastoriles: Aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fundación CIPAV, Medellín, Colombia,
- Navarro, S., 1997. Economía, agricultura ecológica y agroecología. *Baetica* 1, 263-276.
- Nicholls, C., Altieri, M., 2013. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 257-274. DOI: 10.1007/s13593-012-0092-
- Nicholson, C., Koh, I., Richardson, L., Beauchemin, A., Ricketts, T., 2017. Farm and landscape factors interact to affect the supply of pollination services. *Agric. Ecosyst. Environ.* 250, 113-122. DOI: 10.1016/j.agee.2017.08.030
- Noguera, P., 2004. El reencantamiento del mundo. PNUMA; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Ortega y Gasset, J., 1930. Misión de la Universidad. *Revista de Occidente*. Edición de 2004: Alianza Editorial, Madrid.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P., 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 87-105. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.010
- Pandey, D., 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Clim. Policy* 2(4), 367-377. DOI: 10.3763/cpol.2002.0240
- Pannell, D., Llewellyn, R., Corbeels, M., 2014. The farm-level economics of conservation agriculture for resource-poor farmers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 52-64. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.014
- Paradise, C., Madden, M., Hedley, L., 2015. Assessment of beetle and bug diversity in extensively managed cattle farms of varying cattle density, sward height, and surrounding land use. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 39, 19-40, DOI: 10.1080/21683565.2014.933152
- Pardon, P., Reheul, D., Mertens, J., Reubens, B., De Frenne, P., De Smedt, P., Verheyen, K., 2019. Gradients in abundance and diversity of ground dwelling arthropods as a function of distance to tree rows in temperate arable agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 270-271, 114128. DOI: 10.1016/j.agee.2018.10.017
- Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., Verheyen, K., 2017. Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 247, 98-111. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.018

- Penttilä, A., Slade, E., Simojoki, A., Riutta, T., Minkkinen, K., Roslin, T., 2013. Quantifying beetle-mediated effects on gas fluxes from dung pats. *Plos ONE* 8, e71454. DOI: 10.1371/journal.pone.0071454
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Wright, A., 2009. Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty. Earthscan, Londres. DOI: 10.4324/9781849770132
- Petit, J., Casanova, F., Solorio, F., 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. *Agric. Téc. Mex.* 35(1), 107-116.
- Pinzón, M., 2014. Transformación de la Estructura Agroecológica Principal en comunidades intencionales rurales (Ecoaldeas). Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Pirachicán, E., 2015. Autonomía alimentaria en sistemas agrícolas ecológicos y convencionales en Anolaima (Cundinamarca). Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Prigogine, I., 1983. ¿Tan solo una ilusión? Tusquets Editores, Barcelona, España.
- Prigogine, I., Lefever, R., 1973. Theory of dissipative structures. En: Haken, H. (Ed.), *Synergetics: Cooperative phenomena in multi-component systems*. Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden, Alemania. pp. 124-135. DOI: 10.1007/978-3-663-01511-6_10
- Pulselli, R., Simoncini, E., Tiezzi, E., 2009. Self-organization in dissipative structures: A thermodynamic theory for the emergence of prebiotic cells and their epigenetic evolution. *Biosystems* 96, 237-241. Doi: 10.1016/j.biosystems.2009.02.004
- Quintero, I., 2020. Estructura agroecológica principal, actividad funcional de escarabajos coprófagos (coleoptera: scarabaeinae) y fertilidad de suelos en agroecosistemas ganaderos de alta montaña. Proyecto de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Ranjith, P., Lalith, M., Shibu, J., 2019. Agroforestry and biodiversity. *Sustainability* 11, e2879. DOI: 10.3390/su11102879
- Reicosky, D., Forcella, F., 1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.* 53, 224-229.
- Rogé, P., Friedman, A., Astier, M., Altieri, M., 2014. Farmer strategies for dealing with climatic variability: A case study from the mixteca Alta Region of Oaxaca, Mexico. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 38(7), 786-811. DOI: 10.1080/21683565.2014.900842
- Rosenstock, T., Mpanda, M., Rioux, J., Aynekulu, E., Kimaro, A., Neufeldt, H., Luedeling, E., 2014. Targeting conservation agriculture in the context of livelihoods and landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 187, 47-51. DOI: 10.1016/j.agee.2013.11.011
- Rosset, P., Martínez-Torres, M., 2012. Rural social movements and agroecology: context, theory, and process. *Ecol. Soc.* 17, 17. DOI: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05000-170317>
- Ruelas-Monjardín, L., Nava-Tablada, M., Cervantes, J., Barradas, V., 2014. Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona cen-

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- tral montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera Bosques* 20, 27-40. DOI: 10.21829/myb.2014.203149
- Ruiz-Rosado, O., 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia* 31, 140-145.
- Sánchez, G., Villegas, L., 2015. Uso, manejo y conservación de la agrobiodiversidad por comunidades campesinas afrocolombianas en el municipio de Nuquí, Colombia. *Etnobiología* 13(3), 5-18.
- Sarandón, S., 2002. Incorporando el enfoque agroecológico en las Instituciones de Educación Agrícola Superior: la formación de profesionales para una agricultura sustentable. *Rev. Verde Agroecol. Desenvolv. Rural Sustent.* 3, 40-48.
- Sarandón, S., Flóres, C., 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. pp. 131-158. DOI: 10.35537/10915/37280
- Sardiñas, H., Kremen, C., 2015. Pollination services from field-scale agricultural diversification may be context-dependent. *Agric. Ecosyst. Environ.* 207, 17-25. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.020
- Schrama, M., Kroonen, M., Verstegen, H., Van der Putten, W., 2018. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 256, 123-130. DOI: 10.1016/j.agee.2017.12.023
- Segel, L., Jackson, J., 1972. Dissipative structure: An explanation and an ecological example. *J. Theor. Biol.* 37, 545-559. Doi: 10.1016/0022-5193(72)90090-2
- Sevilla, E., 2006. De la sociología rural a la agroecología. Vol. 1. Icaria, Barcelona, España.
- Sevilla, E., González, M. (Eds.), 1993. Ecología, campesinado e historia. La Piqueta, Madrid.
- Shvartsev, S., 2009. Self-organizing Abiogenic Dissipative Structures in the Geologic History of the Earth. *Earth Sci. Front.* 16, 257-275. DOI: 10.1016/S1872-5791(08)60114-1
- Sundriyal, R., Dollo, M., 2013. Integrated agriculture and allied natural resource management in northeast mountains - transformations and assets building. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 37, 700-726. Doi: 10.1080/10440046.2012.720655
- Toledo, V., Barrera-Bassols, N., 2008. La memoria biocultural – La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria, Barcelona, España.
- Torquebiau, E., Dosso, M., Nakaggwa, F., Philippon, O., 2012. Biodiversity conservation through farming: A landscape assessment in KwaZulu-Natal, South Africa. *J. Sustain. Agric.* 36(3), 296-318. DOI: 10.1080/10440046.2011.620227
- Trujillo, M., 1999. Reconocimiento e identificación de insectos y ácaros asociados a seis especies de árboles utilizados como cercas vivas en cultivos de flores en la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.

- Tscharntke, T., Karp, D., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., Zhang, W., 2016. When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biol. Conserv.* 204, 449-458. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.10.001
- Tscharntke, T., Sekercioglu, C., Dietsch, T., Sodhi, N., Hoehn, P., Tylianakis, J., 2008. Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecol. Res.* 89(4), 944-951. DOI: 10.1890/07-0455.1
- Turner, M., Gardner R., O'Neill, R., 2001. *Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process.* Springer Verlag, New York, NY.
- Tuzinkevich, A., Frisman, Y., 1990. Dissipative structures and patchiness in spatial distribution of plants. *Ecol. Modell.* 52, 207-223. DOI: 10.1016/0304-3800(90)90016-A
- Tylor, B., 1871. *Primitive culture.* John Murray, Londres (trad. cast: *Cultura primitiva*, Madrid, Ayuso, 1977).
- Uri, N., 2001. The potential impact of conservation practices in US agriculture on global climate change. *J. Sustain. Agric.* 18, 109-131. DOI: 10.1300/J064v18n01_09
- Uri, N., 2014. Agriculture and the environment - The problem of soil erosion. *J. Sustain. Agric.* 16, 71-94. DOI: 10.1300/J064v16n04_07
- Valencia, M., Ferguson, B. Vandermeer, J., 2019. Syndromes of production and tree-cover dynamics of Neotropical grazing land. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 43(4), 362-385. DOI: 10.1080/21683565.2018.1483994
- Van der Hammen, T., Andrade, G., 2003. *Estructura ecológica principal de Colombia – primera aproximación.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, DC.
- Vázquez, L., 2011. La cerca viva perimetral de la finca como práctica agroecológica en el manejo de plagas. En: *Manual para la adopción del manejo agroecológico de plagas en fincas de la agricultura suburbana.* Vol. I. INISAV-INIFAT, La Habana. pp. 69-83.
- Vázquez, L., 2013. Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología* 8, 33-42.
- Vázquez, L., Alfonso, J., 2013. *Sistema biofincas. Proceso participativo de diagnóstico, aprendizaje e innovación para el diseño y manejo agroecológico de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria.* Biodiversidad en América Latina. Disponible en: <http://www.biodiversidadla.org/>; consultado: junio de 2020.
- Vázquez, L., Matienzo, Y., 2006. Caracterización rápida de la diversidad biológica en los sistemas de producción agrícola, como base para el manejo agroecológico de plagas. En: *IV Curso-Taller Nacional del Programa para la Adopción de la Lucha Biológica y otras Prácticas Agroecológicas por el agricultor.* Sancti Spiritus, Trinidad, Cuba.

**La estructura agroecológica
principal de los agroecosistemas**

- Vázquez, L., Matienzo, Y., Griffon, D., 2014. Diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica. *Fitosanidad* 18, 151-162.
- Verdú, J., Lobo, J., Sánchez-Piñero, F., Gallego, B., Numa, C., Lumaret, J., Cortez, V., Ortiz, A., Tonelli, M., García-Teba, J., Rey, A., Rodríguez, A., Durán, J., 2018. Ivermectin residues disrupt dung beetle diversity, soil properties and ecosystem functioning: an interdisciplinary field study. *Sci. Total Environ.* 618, 219-228. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.331
- Vitousek, P., Ehrlich, P., Ehrlich, A., Matson, P., 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *Am. Inst. Biol. Sci.* 36(6), 368-373. DOI: 10.2307/1310258
- Wagensberg, J., 1998. Ideas sobre la complejidad del mundo. 4a ed. Tusquets Editores, Barcelona, España.
- Wang, J., 1992. Dissipative structure theory and strategy for systematic control of field weeds. *Chinese J. Ecol.* 11, 49-52
- Wilson, G., Dalzell, B., Mulla, D., Dogwiler, T., Porter, P., 2014. Estimating water quality effects of conservation practices and grazing land use scenarios. *J. Soil Water Conserv.* 69(4), 330-342. DOI: 10.2489/jswc.69.4.330
- Wright, D., 1990. Flow energy impacts on human and ecosystems, through natural species for implications endangerment. *Ambio* 19(4), 189-194.
- Yepes, F., 2000. Ganadería y transformación de ecosistemas: un análisis ambiental de la política de apropiación territorial. En: Palacio, G. (Ed.), *La naturaleza en disputa*. UNIJUS; IDEA-Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Zhan, K., Sheng, X., 1998. Prigogine and theory of dissipative structure. Shaanxi Science & Technology Press, Xi'an, China.
- Zhao, C., Hobbs, B., Mühlhaus, H., Ord, A., 2000. Finite element modelling of dissipative structures for nonequilibrium chemical reactions in fluid-saturated porous media. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 184, 1-14. Doi: 10.1016/S0045-7825(99)00449-1

El autor

Tomás Enrique León Sicard. Agrólogo, Máster en Ciencias Ambientales y Doctor en Tecnología Agroambiental de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia, adscrito en dedicación exclusiva al Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). Director del Programa de Investigación en Estudios Ambientales Agrarios del IDEA, con énfasis especial en Agroecología. Director de las cátedras “Agricultura y Ambiente”, “Seminario de Investigación” y “Cultura, Ambiente y Sociedad” y del módulo de “Teoría Ambiental del Desarrollo” en el Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo (PMAD) del IDEA. Coordinador del grupo fundador del Programa de Doctorado en Agroecología de las Universidades de Antioquia y Nacional de Colombia (PDA). Tutor y director de más de 40 tesis de maestría y doctorado. Investigador científico por más de 35 años en temas agrícolas y ambientales. Entre sus más de 130 publicaciones se destacan los libros *Medio ambiente, tecnología y modelos de agricultura en Colombia – Hombre y arcilla* (2007) y *Perspectiva ambiental de la agroecología, la ciencia de los agroecosistemas* (2014), además de artículos y capítulos de libros sobre educación ambiental, resiliencia de los agroecosistemas, metodologías para la evaluación de la agrobiodiversidad, agricultura urbana e historia de la agroecología en Colombia.

Índice

Abejas 57, 61, 62, 63, 64
Agregación de agroecosistemas 20
Agrobiodiversidad 29, 33, 41, 45
Agroecología 15, 16, 19, 20, 21, 23, 24, 26
Agroecosistema 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45
Agroecosistema mayor 13, 15, 17, 20, 21, 22, 23, 25
Agroecosistema menor 20, 23
Agroecosistemas ganaderos 148, 149, 151, 152, 179, 182
Apropiación humana de la productividad primaria neta 140, 141, 142, 143, 146, 148, 149, 150, 151, 152
Autonomía alimentaria 174, 178
Biología de la conservación 4, 39
Boyacá 165, 167, 170, 171, 172, 174, 177, 178, 179
Café 140, 144, 145, 150, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 169, 185
Campesino 48, 81, 93, 122, 126, 158, 165, 167, 192
Caracterización 192, 193, 194
Ciencia 191, 192, 193, 194
Cítricos 145, 158, 159, 162
Clasificación de indicadores 49
Cobertura vegetal 31, 32, 39, 40, 41, 42, 43
Complejidad 20, 22, 24, 27, 28, 191, 194
Comunidad 48, 58, 62, 63, 98, 100, 109, 115, 116, 121, 126, 127
Conectividad 29, 45
Configuración 29, 41, 45
Corredores biológicos 39
Cualidades de los agroecosistemas 27, 28
Cundinamarca 136, 142, 143, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 169, 180, 182, 183, 185, 188
Derechos de propiedad 20
Dimensión simbólica 192
Distancias 58, 59, 65, 72, 73, 74

- Disturbio 41, 43, 44, 45
- Ecoaldeas 183, 184, 185, 186, 187
- Ecología del paisaje 34, 37, 38, 39, 40, 41
- Enemigos naturales 58, 59, 61, 63, 64, 66, 84
- Enfoques 46, 48, 99
- Entorno de una finca 53, 54, 58
- Escarabajos coprófagos 179, 180, 182
- Estructura ecológica principal del paisaje 33, 37
- Fitosanidad 158
- Flujos energéticos 142, 176
- Funcionalidad 132, 169, 171, 179
- Infraestructura ecológica 37
- Interacciones 132, 133, 134, 135, 137, 158, 179
- Mapas catastrales 47
- Matriz de agroecosistemas 23, 25
- Neorural 185
- Ordenamiento territorial 153, 187, 189, 190
- Orinoquia 158, 160, 162
- Parches de vegetación natural 59, 61, 72
- Pensamiento ambiental 13, 22
- Percepción remota 48, 51, 74, 96
- Plagas 60, 64, 65, 66, 84, 113
- Planificación 194, 195
- Polinizadores 59, 61, 62, 63, 64, 84
- Remanentes 59, 72
- Resiliencia 140, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 164, 165, 166, 172, 174
- Restauración ecológica 40
- Retos futuros 67
- Sabana de Bogotá 135, 136, 137, 139, 140, 154, 188
- Sistemas agroforestales 58, 60, 61, 65, 85, 86, 94, 115, 122
- Suelos 51, 54, 55, 56, 59, 60, 61, 64, 85, 86, 92, 98, 99, 102, 105, 106, 107, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 128
- Taxonomía 194
- Territorio 30, 34, 39, 40, 42
- Usos 50, 51, 56, 57, 60, 84, 88, 91, 93, 94, 95, 96, 99, 105, 111, 119
- Usos del suelo 142, 143, 149, 150, 159, 161, 172
- Variabilidad climática 135, 140, 153, 155, 156, 158, 164, 165, 166, 174, 178
- Vecino 54, 55, 58, 59, 60, 65, 68, 69

**La Estructura Agroecológica Principal
de los agroecosistemas:
erspectivas teórico-prácticas**
se terminó de imprimir en los talleres de
DGP Editores
en Bogotá D.C.
en septiembre de 2021

La presente obra se ha escrito para profundizar en el concepto de Estructura Agroecológica Principal (EAP por sus siglas en español o MAS por sus siglas en inglés correspondientes a *Main Agroecological Structure*) de las fincas o, como se denominarán en adelante, agroecosistemas mayores. El concepto EAP fue concebido y desarrollado en el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia por el grupo de investigación en Estudios Ambientales Agrarios, como resultado de la obligada conexión que existe entre el pensamiento ambiental y la ciencia agroecológica.

El concepto de EAP de los agroecosistemas mayores, propuesto por el autor desde el año 2010 —y cuya definición y aplicaciones se abordarán a lo largo de este libro—, constituye un índice ambiental. Ello por cuanto induce un diálogo entre algunos elementos de corte ecosistémico, como la inclusión de coberturas boscosas dentro de los agroecosistemas o la medición de sus vallas o cercas vivas, con otros elementos de índole cultural relativos a las decisiones tomadas por los agricultores sobre la destinación de sus fincas (usos del suelo), el manejo tecnológico de sus semillas, cultivos y aguas o la percepción que ellos tienen sobre el papel de la agrobiodiversidad en sus sistemas productivos y sus capacidades financieras, educativas o sociales para aumentar significativamente su biodiversidad.

De este tema, de la estructura de las fincas y sus conexiones con la agrobiodiversidad y el pensamiento ambiental, es de lo que trata este libro. Se ha escrito para quienes se interesen en avanzar de manera conceptual y práctica en el manejo racional de los agroecosistemas. Posee elementos novedosos que todavía están en discusión y su única intención es la de proveer un marco de referencia que permita relacionar posteriormente la estructura con la función de los agroecosistemas y que sea de utilidad para impulsar análisis sobre lo que podría representar en el futuro este índice, cuando la agroecología comience a interesarse por una posible taxonomía de sus agroecosistemas y se integre a discusiones relevantes sobre resiliencia, estabilidad, productividad y conservación con indicadores cada vez más robustos y complejos.

ISBN: 978-958-794-605-5



9 789587 946055