

El Colegio de la Frontera Sur Universidad de Sherbrooke

Revisión teórico-metodológica de la agrobiodiversidad y estudios
de caso en México y Centroamérica

TESINA

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestro en Ecología Internacional

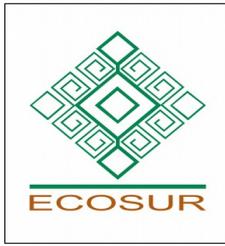
por

Diego Luis Coppens Zamora

Directora

Dra. Mirna Valdez Hernández

2021



El Colegio de la Frontera Sur

el 26 de Mayo del 2021

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador de:
Diego Luis Coppens Zamora, hacemos constar que hemos revisado y
aprobado la tesina titulada:

***Revisión teórico-metodológica de la agrobiodiversidad y
estudios de caso en México y Centroamérica***

para obtener el grado de Maestro (a) en Ecología Internacional

Directora: Dra. Mirna Valdez Hernández

Evaluador: Dr. Gerald Alexander Islebe

Gerald A. Islebe

SUMARIO

RESUMEN.....	v
SOMMAIRE.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS.....	viii
GLOSARIO.....	ix
Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. La biodiversidad agrícola y su importancia.....	2
1.1. El Convenio sobre la Diversidad Biológica.....	2
1.2. Las Conferencias de las Partes y Acuerdos internacionales.....	3
1.3. El impacto de las actividades agrícolas en la biodiversidad.....	5
1.4. Las dimensiones de la agrobiodiversidad.....	7
1.5. Las funciones y servicios ecosistémicos.....	10
1.6. Conservación y uso sostenible de la agrobiodiversidad.....	12
1.7. Importancia de una agricultura sostenible.....	14
CAPÍTULO 2. Conceptos y herramientas metodológicas.....	16
2.1. Métodos clásicos para cuantificar la biodiversidad.....	16
2.2. Conceptos metodológicos de evaluación.....	18
Escala.....	19
Paisaje.....	19
Información bioclimática.....	19
Hábitat y cobertura del terreno.....	20
Riqueza de especies y composición.....	20
Los estimadores de riqueza.....	21
Área de distribución y modelos de nicho ecológico.....	21
Percepción remota.....	22
Registros de presencia.....	22
Métrica paisajística.....	23
Tipos de disturbios en paisajes antrópicos.....	24
Hipótesis del disturbio intermedio.....	24
Fragmento o “parche”.....	25
Fragmentación del hábitat.....	25
Efectos de borde.....	26
Teoría de biogeografía de islas.....	26
Modelos de biogeografía rural.....	27
Trayectorias de cambio de uso del suelo.....	28
Hipótesis de la divergencia del paisaje.....	28
Hipótesis de la dominancia de beta.....	28
Hipótesis del conjunto regional de especies.....	29
2.3. Un enfoque transdisciplinario para estimar la agrobiodiversidad.....	29
2.3.1. Técnicas participativas de investigación.....	31
2.3.2. El muestreo.....	33
2.3.3. Caracterizando cultivos.....	33
2.3.4. Uso de plantas silvestres y aportes etnobotánicos.....	34
2.3.5. El género y la agrobiodiversidad.....	35

CAPÍTULO 3. Sistemas agroforestales, agrobiodiversidad y estudios de caso.....	36
3.1. Sistemas agroforestales como refugio de biodiversidad.....	36
3.2. Estudios de agrobiodiversidad en agroecosistemas cafetaleros.....	38
3.2.1. Estudios en México.....	39
3.2.2. Estudios en Centroamérica.....	40
4. CONCLUSIONES.....	44
5. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	46

RESUMEN

El tema de la biodiversidad ha venido cobrando importancia en el ámbito académico, científico y tecnológico, debido principalmente al hecho de constatar su pérdida y deterioro acelerado, como consecuencia directa de las actividades humanas. Este trabajo consiste en una revisión tanto de conceptos clave alrededor de la biodiversidad y su conservación, como de metodologías participativas para la evaluación y monitoreo de la biodiversidad agrícola. El objetivo principal es por lo tanto facilitar las herramientas conceptuales y metodológicas para una comprensión y aplicación efectiva de este tema. El último capítulo resume diversas consideraciones sobre la importancia de los sistemas agroforestales, relacionada al manejo y conservación de la biodiversidad agrícola y para ejemplificar, se incluyen resultados de estudios de caso, centrados en agroecosistemas cafetaleros en México y Centroamérica. Se concluye que el estudio de la agrobiodiversidad ha contribuido a revalorizar los entornos agrícolas como refugios importantes de biodiversidad, pero también como prestadores de múltiples funciones y servicios ecosistémicos. Es necesario adaptar los métodos de investigación existentes a las condiciones y requerimientos locales de cada sitio, aunque también es importante apegarse a cierta estandarización de dichos métodos, para poder comparar y contribuir al estudio y monitoreo global de la agrobiodiversidad.

Palabras clave: biodiversidad, biodiversidad agrícola, metodologías, sistemas agroforestales.

SOMMAIRE

La question de la biodiversité est devenue importante dans les sphères académiques, scientifiques et technologiques, principalement en raison du fait que sa perte et sa détérioration sont observées comme une conséquence directe des activités humaines. Ce travail consiste en un examen des concepts clés entourant la biodiversité et sa conservation, ainsi que des méthodologies participatives pour l'évaluation et le suivi de la biodiversité agricole. L'objectif principal est donc de fournir des outils conceptuels et méthodologiques pour une compréhension et une application efficaces de ce sujet. Le dernier chapitre résume diverses considérations sur l'importance des systèmes agroforestiers par rapport à la gestion et conservation de la biodiversité agricole et, à titre d'exemple, inclut différents résultats d'études de cas axées sur les agroécosystèmes caféiers au Mexique et en Amérique centrale. Il est conclu que l'étude de l'agrobiodiversité contribue à la réévaluation des environnements agricoles en tant que refuges importants de biodiversité, mais aussi en tant que fournisseurs de multiples fonctions et services écosystémiques. Il est nécessaire d'adapter les méthodes de recherche existantes aux conditions et exigences locales de chaque site, mais il est également important d'adhérer à une certaine standardisation de ces méthodes afin de pouvoir faire des comparaisons et de contribuer à l'étude et au suivi de l'agrobiodiversité au niveau mondial.

Mots clés: biodiversité, biodiversité agricole, méthodes, systèmes agroforestiers.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente el apoyo de mi familia y amigos, quienes desde la distancia estuvieron siempre pendientes al desarrollo de este trabajo investigativo.

Estoy muy agradecido también con el Colegio de la Frontera Sur, Ecosur y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt, por esta valiosa oportunidad de estudiar con una beca completa en México y Canadá, experiencia que ha despertado nuevas perspectivas y horizontes en mi vida académica y profesional.

Quiero asimismo agradecer a mi tutora, Mirna Valdez Hernández, evaluador externo Gerald Islebe y coordinadoras de la maestría en Ecosur, Chetumal; Birgit Schmook y Nancy Vela Peláez, por el apoyo brindado a lo largo de la maestría y durante el proceso del presente trabajo.

ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

ACE: Abundance Coverage Estimator (Estimador de abundancia de cobertura)

ACC: Análisis de Cuatro Células

BD: Biodiversidad o Diversidad Biológica

CDB: Convenio sobre la Diversidad Biológica

CEDRSSA: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria

COP: Conferencia de las Partes (del CDB)

DGF: Discusiones en Grupos Focales

FAO: Organización de la ONU para la Alimentación y la Agricultura

MEA: Millenium Ecosystem Assessment

MDE: Modelo de Nicho Ecológico

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible (de la ONU)

OSACTT: Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico

PA: Paisaje(s) Agrícola(s)

PANN: Pesticide Action Network North America

PAR: Platform for Agrobiodiversity Research

RAE: Real Academia Española

SAF: Sistema(s) Agroforestal(es)

TRFAA: Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura

UNCED: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo

UNEP: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos

GLOSARIO

Abundancia relativa (de especies): es la proporción de una especie o taxón respecto a todas las especies o taxones contenidos en un sitio. Es un componente de la biodiversidad y se refiere a cuan común o rara es una especie en comparación a otras especies en una comunidad biológica o sitio definido.

Atomista: paradigma filosófico de la antigua Grecia, el cual considera que la realidad y el conjunto de la materia está compuesta de diferentes partículas reducibles en unidades cada vez más pequeñas, hasta llegar a unas últimas partículas que no pueden reducirse ni dividirse más: los átomos.

Biogeografía: disciplina científica que estudia la distribución de los seres vivos sobre la Tierra, así como los procesos que la han originado, que la modifican y que pueden contribuir a su desarrollo y conservación.

Cultivos agroindustriales: la agroindustria es la actividad económica que se dedica a la producción, industrialización y comercialización de productos agropecuarios, forestales y otros recursos naturales biológicos. Implica la agregación de valor a productos de la industria agropecuaria, silvícola y pesquera, entre otras.

Ecotono: del griego “*oikos*” o casa y tonos o tensión, es un lugar donde los componentes ecológicos están en tensión. Es la zona de transición entre dos o más comunidades ecológicas distintas. A veces la ruptura entre dos comunidades constituye un límite bien definido, denominado borde; en otros casos hay una zona intermedia con un cambio gradual de un ecosistema al siguiente.

Eutrofización (del medio acuático): Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton. (RAE). Con “sustancias nutritivas” se refiere a los compuestos de los fertilizantes; nitrogenados, fosforados, entre otros.

Filogenia: rama de la biología que se ocupa de las relaciones de parentesco entre los distintos grupos de seres vivos. Estudia el origen y desarrollo evolutivo de las especies (RAE).

Holístico: relativo al holismo, doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen (RAE). En este caso, refiere a un entendimiento completo, integral.

Hotspot: o "punto caliente" de biodiversidad es un área reconocida por presentar altos niveles de biodiversidad y/o endemismos (Myers, 1988).

Organismos descomponedores: Son aquellos que se alimentan de restos orgánicos, transformándolos en inorgánicos. Los descomponedores más conocidos y destacados son los hongos y las bacterias pero en este grupo entran las babosas, lombrices e insectos.

Recambio o reemplazo de especies: es el cambio en la composición y estructura de las comunidades de una unidad de muestreo a otra, a lo largo de un gradiente espacial, temporal o ambiental (Anderson et al., 2011).

Revolución verde: también conocida como revolución genética, fue un proceso de desarrollo y expansión de semillas y tecnologías agrícolas de alta productividad principalmente en países del Sur global, durante los años 60 y comienzos de los 70.

Riqueza de especies: es el número total de especies que se encuentran en un hábitat, ecosistema, paisaje, área o región determinada (Magurran, 2004).

Trade-off: en Ecología y Economía se conoce como *trade-off* al hecho de perder una cualidad o cualquier aspecto de energía, materia o recursos en pos de ganar otra cualidad u otro aspecto del mismo tipo. En otras palabras son intercambios de materia y/o energía. Ej.: *Los trade-offs de la agricultura intensiva.*

Introducción

El tema de la biodiversidad ha venido cobrando importancia en el ámbito académico, científico y tecnológico. Este interés creciente surge de constatar la pérdida y deterioro acelerado de la diversidad biológica, como consecuencia de las actividades humanas. Hace más de veinte años, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura estimó que un 75% de la diversidad de cultivos se ha perdido en el transcurso del último siglo XX (FAO, 1999). Se ha destacado también que la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad, es uno de los desafíos más importantes que enfrenta la humanidad actualmente (UNEP, 2000; Sarandón, 2010).

La producción agropecuaria es de las actividades que mayor impacto tienen sobre la diversidad biológica y la salud de los ecosistemas, siendo los cambios de uso del suelo y la introducción de especies invasoras, entre las principales causas de degradación ambiental y ecológica a nivel mundial (Jackson et al., 2005). Ahora más que nunca es necesario diseñar e implementar estrategias productivas sostenibles para la conservación de la biodiversidad en los sistemas agrícolas (Altieri, 1987; PANN, 2009). El estudio de la agrobiodiversidad debe considerar también las dimensiones económicas, sociales y culturales de la sostenibilidad, hacia un enfoque de sistemas socio-ecológicos (Zimmerer et al., 2019).

Este trabajo analiza primeramente los conceptos básicos alrededor de la biodiversidad agrícola y su conservación, en una segunda parte, se enfoca más hacia las metodologías para evaluar la agrobiodiversidad en campo. Finalmente, para asentar estos conceptos y metodologías, el tercer y último capítulo resume diferentes estudios de caso sobre biodiversidad agrícola en sistemas agroforestales, específicamente sistemas cafetaleros en México y Centroamérica. El objetivo principal de la investigación es, por lo tanto, facilitar las herramientas conceptuales y metodológicas para una comprensión y aplicación efectiva de este tema de importancia actual, como es el estudio, manejo y conservación de la biodiversidad agrícola.

CAPÍTULO 1. La biodiversidad agrícola y su importancia

1.1. El Convenio sobre la Diversidad Biológica

Una de las principales referencias acerca del tema de la biodiversidad es el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), donde se plantearon puntos importantes acerca del concepto de biodiversidad y biodiversidad agrícola o agrobiodiversidad. El CDB fue propuesto por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED), celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992. El Convenio entró en vigencia en diciembre de 1993 y actualmente 195 países más la Unión Europea han firmado, siendo Estados Unidos el único país miembro que no lo ha ratificado. Sus principales objetivos son: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de todos sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos (UNEP, 1994).

El CDB definió a la diversidad biológica (BD) como “la variabilidad entre organismos vivientes de todo tipo u origen, incluyendo ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos, así como a los complejos ecológicos de los cuales forman parte. Incluye la diversidad de cada especie (a nivel genético), entre especies (específica) y de ecosistemas” (UNEP, 1994). Este concepto ha evolucionado desde entonces, integrando entre otros aspectos, el socio cultural, la escala a nivel de paisaje y los retos que implica incorporar una visión holística, sistémica e integradora para la conservación de la biodiversidad.

En su preámbulo, el CDB reconoce una pluralidad de valores para la biodiversidad al describir explícitamente sus valores intrínsecos, ecológicos, genéticos, económicos, sociales, científicos, educacionales, recreativos, culturales y estéticos, así como sus principales componentes (UNEP 1994; Sarandón 2010). Ha sido relevante el dimensionar los diferentes valores de la biodiversidad para poder cuantificar y predecir las consecuencias que produce su deterioro, de esta manera se tiene una idea más clara y completa acerca del costo real que implica su degradación y de su impacto a escala humana. A continuación, se enfatizan algunas

consideraciones clave sobre la diversidad biológica, producto de las investigaciones del Comité de asesoramiento científico (OSACTT¹) del CDB:

- La importancia de la biodiversidad para la evolución y mantenimiento de los sistemas necesarios para la vida en la biosfera.
- La preocupación creciente por la considerable reducción de la BD como consecuencia de ciertas actividades humanas (agricultura, pesca, industria, entre otras).
- Es vital prever, prevenir y atacar en su fuente las causas de la reducción y pérdida de la BD.
- La exigencia fundamental para la conservación de la BD es la conservación *in situ* de los ecosistemas y hábitats naturales, aunque la adopción de medidas *ex situ* también desempeña una función importante.
- La conservación y utilización sostenible de la BD tiene una importancia crítica para satisfacer las necesidades alimentarias y de salud de la población (UNEP, 1994; Sarandón 2010).

En resumen, las metas del Convenio sobre la Diversidad Biológica son la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios resultantes de su utilización. Se debe subrayar que el CDB es el primer acuerdo global para abordar todos los componentes de la diversidad biológica; recursos genéticos, especies y ecosistemas, y el primero en reconocer que la conservación de la biodiversidad es una preocupación común de la humanidad y parte integral de cualquier proceso de desarrollo social y económico (UNEP, 2000).

1.2. Las Conferencias de las Partes y Acuerdos internacionales

La Conferencia de las Partes (COP), celebrada por lo general cada dos años, es conocida como el órgano rector del CDB; además de dirigir los alcances del Convenio, se actualizan y divulgan los resultados de investigaciones acerca del estado de la biodiversidad a nivel mundial. Esto último mediante el análisis y

1 **OSACTT**: Organismo subsidiario de asesoramiento científico, técnico y tecnológico del CDB.

discusión de los temas agendados por el CDB y con la asesoría proporcionada por el OSACTT. A continuación se resumen algunas de las conferencias y acuerdos internacionales más importantes en cuanto al estudio, manejo y conservación de la agrobiodiversidad.

Desde 1996, la COP-3 estableció un programa de trabajo sobre la biodiversidad agrícola, incluyendo todos los componentes de la biodiversidad relevantes para la agricultura y la alimentación; los recursos genéticos de cultivos y variedades, razas, animales, especies de peces, y recursos silvestres que se encuentran en diferentes ecosistemas, naturales como intervenidos. La COP-4 (UNEP, 1998) fue más allá y enfatizó en la necesidad de reorientarse hacia una agricultura sostenible; balanceando la producción agrícola con la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales. Por ello, se solicitó proveer insumos para el desarrollo y aplicación de metodologías para la identificación, evaluación y monitoreo de la agrobiodiversidad, incorporando criterios e indicadores estandarizados (Sarandón, 2010). El principal aporte de la COP-5 (UNEP, 2000) fue clarificar el ámbito de la biodiversidad agrícola, sus componentes y funciones, así como proponer el enfoque ecosistémico para su evaluación (Sarandón, 2010). Además de reconocer la importancia de las funciones, estructura y procesos ecosistémicos relacionados al mantenimiento de la agrobiodiversidad, se han identificado sus características distintivas y los principales factores relacionados a su degradación y/o conservación en entornos agrícolas.

Desde entonces, se han sucedido diferentes COP con avances y nuevas decisiones de los estados miembros para mitigar los efectos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad; COP16 en Cancún (2010), donde se creó el Fondo Verde o la COP21 en París (2015), donde después de veinte años de negociaciones, se adoptó el Acuerdo de París para fijar el calentamiento global debajo de 2°C con respecto a la era preindustrial y proseguir esfuerzos para limitarlo en 1.5 °C. Entró en vigor poco antes de la COP22 (Marrakech, 2016), que resultó en la Declaración de Marruecos, una alianza para acciones pre-2020 y la creación del Órgano de decisión sobre dicho Acuerdo, el cual es jurídicamente vinculante para los países firmantes (Sanahuja, 2015).

Por otro lado, la ONU declaró como “Decenio de la Biodiversidad” al período 2011-2020, con la meta de aplicar el Plan estratégico para la BD, donde se alentó a los gobiernos a desarrollar, implementar y comunicar los resultados de sus estrategias nacionales para la aplicación de este Plan estratégico, coordinado a las “Metas de Aichi” (COP10 Japón, 2010). Sin embargo, el propio CBD reconoció que los esfuerzos de los países para alcanzar los objetivos del Plan han sido insuficientes (Montejo, 2020). Una de las razones que podría explicar esta falta de avances es que las causas del deterioro ambiental, -incluyendo la biodiversidad-, están vinculadas a las actividades productivas y al modelo económico que nos rige, así como al aumento de la población y mayores niveles de consumo, que exigen cada vez más recursos en un planeta que se agota (Yanes, 2020).

1.3. El impacto de las actividades agrícolas en la biodiversidad

La biodiversidad genética ha disminuido a nivel mundial, en particular entre las especies domesticadas. Desde 1960 se ha producido un cambio fundamental en el patrón de la diversidad intraespecífica (variedades) en los campos agrícolas como resultado de la *Revolución verde*² (MEA, 2005), la cual consistió en homogeneizar cada vez más los agroecosistemas, siendo el monocultivo su expresión más tangible.

La intensificación de los sistemas agrícolas, junto con la especialización de la biotecnología y la extensa uniformización productiva, promovidas por la globalización y la agricultura convencional, han dado lugar a una reducción sustancial de la diversidad genética de flora, fauna y microorganismos en los sistemas agrícolas (MEA, 2005). A su vez, la pérdida de biodiversidad en los paisajes agrícolas no solo afecta la producción de alimentos, combustible y fibras, sino también una serie de servicios ecológicos, que son el sustento para el abastecimiento de agua dulce, el mantenimiento de hábitats silvestres y la salud humana (Jackson et al., 2005).

2 **Revolución verde:** también conocida como revolución genética, fue un proceso de desarrollo y expansión de semillas y técnicas agrarias de alta productividad principalmente en diferentes países del Sur global durante los años 60 y comienzos de los 70.

Entre los principales factores causantes de pérdida de biodiversidad, se menciona la transformación del hábitat debido a la conversión de uso de suelo. Así lo confirman Jackson y colaboradores (2005), al plantear que la conversión de uso de suelo para la agricultura es la principal causa de pérdida de biodiversidad a nivel global. Algunas prácticas agrícolas, como el bombeo de agua del subsuelo y el uso excesivo de agroquímicos, pueden tener impactos negativos en la biodiversidad y los recursos tanto en agroecosistemas como en ecosistemas naturales, por el hecho de estar interrelacionados. Hecho constatado por Jackson et al. (2005): la intensificación y la expansión de la agricultura afectan negativamente a la diversidad biológica dentro y fuera de las explotaciones agrícolas, ocasionando el desplazamiento y extinción de especies tanto en hábitats silvestres como intervenidos.

Las tierras agrícolas representan alrededor del 38% de la superficie terrestre mundial. De la cual un tercio es destinada a cultivos, mientras que los dos tercios restantes consisten en pastos y forrajes para la alimentación del ganado (FAO, 2020). Según los escenarios estimados por el MEA (2005), se prevé que, a escala global, entre un 10 y 20% de los pastizales y bosques actuales se conviertan en agroecosistemas para 2050. Otros factores de impacto relacionados con las actividades agrícolas, además del uso intensivo de agroquímicos, son la introducción de especies exóticas, la erosión del suelo y la excesiva carga de nutrientes, por el sobre uso de fertilizantes sintéticos que contaminan suelos, mantos acuíferos y generan importantes perturbaciones ambientales como la eutrofización³ (MEA, 2005). Asimismo, hay una preocupación creciente por la expansión y el uso indiscriminado de productos biotecnológicos, como las semillas transgénicas (Jackson et al., 2005).

Existe una dependencia de la agricultura moderna hacia el monocultivo, la intensificación tecnológica y el uso masivo de agroquímicos, que son prácticas

3 **Eutrofización** (del medio acuático): incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton (Diccionario de la RAE). Con “sustancias nutritivas” se refiere a los compuestos de los fertilizantes, como los nitrogenados y fosforados, entre otros.

corrientes de la agricultura convencional, en detrimento de su propia sostenibilidad económica y resiliencia ecológica. Estas prácticas conducen a una simplificación de los agroecosistemas y a sistemas productivos cada vez más inestables (Gliessman, 2001; Sarandón, 2010). La agricultura se encuentra entonces frente a una encrucijada; si por un lado es una de las actividades que mayor impacto negativo tiene sobre la biodiversidad, y se comprueba por otro, que el uso de un limitado número de especies y variedades cultivables no solo disminuye la diversidad biológica, sino que perjudica a la propia producción agrícola, al depender esta última de la biodiversidad (Jackson et al., 2005).

La agricultura convencional ha consistido en modificar los ecosistemas para orientar la producción hacia pocas o incluso una sola especie “económicamente rentable”, y como cualquier tipo de agricultura implica simplificaciones del sistema ecológico, dicha actividad suele ocasionar reducciones importantes de la biodiversidad (Sarandón, 2010). La Organización de la ONU para la Agricultura y la Alimentación (FAO) documenta estos procesos al estimar que entre los años 1900 y 2000, un 75% de la diversidad de cultivos habría desaparecido (FAO, 1999). Por otro lado, investigaciones sobre la biodiversidad agrícola a nivel global, reconocen el importante rol que tienen la agricultura tradicional y los agricultores para la conservación y el manejo de la biodiversidad en los paisajes agrícolas (MEA, 2005). Es aquí donde cobran mayor importancia la difusión y puesta en práctica de formas alternativas de agricultura orgánica, biológica o agroecológica.

1.4. Las dimensiones de la agrobiodiversidad

Al constatar la importancia que tiene la biodiversidad en los entornos agrícolas y para distinguirla de la biodiversidad en los ecosistemas naturales, el CDB definió a la agrobiodiversidad como el resultado de las interacciones entre los recursos genéticos, el medio ambiente, los sistemas y las prácticas de gestión utilizadas por los agricultores. Así se amplió el concepto al reconocer que también es producto de la selección natural y de la intervención humana, desarrollada a través de milenios de prácticas agrícolas, integrando de esta manera valores socio culturales al estudio y análisis de la agrobiodiversidad (UNEP, 2000).

Este último punto coincide con la definición de la FAO: “la agrobiodiversidad es el resultado de la interacción entre el medio ambiente, los recursos genéticos, los diferentes sistemas y las prácticas de gestión por pueblos culturalmente diversos”. De esta manera, el conocimiento tradicional y la diversidad cultural se consideran parte integral de la agrobiodiversidad, porque es la actividad humana la que moldea y mantiene a la biodiversidad agrícola (FAO, 1999). Es importante recordar que los agroecosistemas no están aislados del ambiente natural y antrópico, sino que interactúan constantemente con su entorno a diferentes niveles: ecológico, socio cultural, político y económico (Perrings et al., 2011; Sarandón, 2010). A continuación, se identifican las principales dimensiones de la agrobiodiversidad (según Jackson et al., 2007 y Perrings et al., 2011):

1. Los recursos genéticos: constituyen las unidades básicas de la producción agropecuaria, incluyendo especies y variedades de plantas, razas animales, así como a la infinita diversidad de microorganismos, que son el sustento biológico del suelo y del agroecosistema como tal.
2. Los componentes: son todos los cultivos y variedades, razas, animales silvestres y domesticados y recursos naturales que sustentan la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos. Incluyen organismos y procesos ecológicos como los descomponedores⁴, el ciclo de nutrientes, la fijación de carbono, el equilibrio de plagas y enfermedades, la polinización y dispersión de semillas o la regulación del clima, entre otros.
3. Factores abióticos: tales como los factores climáticos, geológicos y químicos, relativos a la estructura física y al funcionamiento de los ecosistemas, que también influyen en la biodiversidad agrícola.
4. Dimensión socio económica y cultural: la agrobiodiversidad ha sido moldeada por las actividades humanas (agricultura, pesca, silvicultura, ganadería) y sus prácticas de manejo, así como las personas inversamente dependemos de la

4 **Organismos descomponedores**: son aquellos que se alimentan de restos orgánicos, transformándolos en inorgánicos. Los descomponedores más conocidos y destacados son los hongos y las bacterias pero en este grupo entran las babosas, lombrices e insectos.

biodiversidad agrícola para subsistir. Esta dimensión incluye el conocimiento local y tradicional relacionado a la diversidad biológica (agrícola y silvestre), los factores culturales y los procesos sociales u organizativos, en relación al uso y manejo de la misma.

La siguiente tabla compara los conceptos de biodiversidad y biodiversidad agrícola entre sus diferentes niveles: ecosistémico, específico y genético.

Niveles	Biodiversidad	Biodiversidad Agrícola
Ecosistema	Un complejo dinámico de diferentes comunidades de plantas, animales, hongos y microorganismos, incluyendo el medio abiótico en el que interactúan, como una unidad funcional conjunta. Ej.: bosque, manglar, praderas, lagos y desiertos.	La diversidad de los ecosistemas agrícolas es en parte el resultado de las interacciones con su entorno natural e intervenido. Ejemplos de agroecosistemas incluyen arrozales, sistemas de pastoreo, plantaciones forestales, sistemas de cultivo y ecosistemas más amplios en los que estos se encuentran.
Especies	Una especie es un grupo de organismos morfológicamente similares que pueden entrecruzarse y producir descendencia fértil. El número de especies identificadas sigue siendo bastante limitado.	La diversidad de plantas, animales y organismos utilizados en la agricultura, que son el resultado de la selección y gestión humana sobre la biodiversidad. Se reconoce que su diversificación es la base de una alimentación balanceada y de calidad.
Genético	Es la variación genética entre todos los individuos de cada especie. La expresión genética en los rasgos fisiológicos, como la tolerancia a sequías, facilita la adaptación ante condiciones climáticas cambiantes.	La diversidad intra específica es en parte resultado del manejo de los agricultores en función de ciertos rasgos de interés. El intercambio de semillas entre ellos juega un rol importante para el mantenimiento de la diversidad genética de cultivos y variedades.

Tabla 1: La biodiversidad y la biodiversidad agrícola (CDB, 2008).

Aunque se ha insistido en orientar los esfuerzos hacia un enfoque integral y sistémico para el estudio de la agrobiodiversidad, se ha señalado que prevalece una visión atomista⁵ y, desde el ámbito agronómico y productivo, centrada al manejo de la diversidad genética de cultivos, sin considerar la dimensión social y cultural (Jackson et al., 2005; Perrings et al., 2011; Martella y Trumper, 2012). Este tipo de enfoque no solo restringe el entendimiento integral u holístico⁶ de la biodiversidad agrícola, también vuelve menos efectivas las acciones para su conservación.

Durante mucho tiempo, la biodiversidad ha sido considerada principalmente como una fuente de genes de la cual suplirse y continuar produciendo (Jackson et al., 2007; Sarandón, 2010). Pero hoy se hace mayor énfasis en las funciones ecológicas que puede generar un agroecosistema sano y sobre la importancia de encaminarse hacia un manejo sostenible de los recursos, la biodiversidad y los agroecosistemas (MEA, 2005). Actualmente, parte del reto es la identificación de las funciones y servicios que prestan los agroecosistemas y la biodiversidad, así como su valorización social, por los diferentes actores que intervienen en la producción agrícola (Jackson et al., 2007).

1.5. Las funciones y servicios ecosistémicos

Desde hace algunos años, la comunidad científica, académica e instituciones afines, reconocen la importancia de los agroecosistemas y de las funciones ecológicas cuando se analiza la biodiversidad, acorde a orientaciones del CDB, que propone una visión ecosistémica para su estudio (Sarandón, 2010). La presencia de ambientes poco perturbados, asociados a paisajes agrícolas, está siendo actualmente valorizada por los múltiples servicios ecológicos que pueden proveer (Jackson et al., 2007). Estos servicios provienen de los procesos ecológicos de los

5 **Atomista:** paradigma filosófico de la antigua Grecia, el cual considera que la realidad y el conjunto de la materia está compuesta de diferentes partículas reducibles en unidades cada vez más pequeñas, hasta llegar a unas últimas partículas que no pueden reducirse ni dividirse más: los átomos.

6 **Holístico:** relativo al holismo, doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen (RAE). En este caso, refiere a un entendimiento completo, integral.

ecosistemas, los cuales a su vez dependen de la biodiversidad funcional (MEA, 2005).

La MEA (2005) definió los servicios ecosistémicos como los beneficios que se obtienen del funcionamiento de los ecosistemas, haciendo la distinción entre servicios de aprovisionamiento, de regulación, de apoyo y servicios culturales. El mantenimiento de los servicios ecosistémicos solo es posible a través de prácticas agrícolas sostenibles, así lo señala Nieto (2017), quien a través de una revisión sobre el tema, indica que el manejo agrícola sostenible de la agrobiodiversidad incide en la prestación de servicios ecosistémicos, mejora la resiliencia de los agroecosistemas, restaura la biodiversidad funcional en los paisajes agrícolas y genera valores ecológicos, sociales y culturales.

Los ecosistemas que se gestionan para un único servicio, como la producción de alimentos, combustible o fibra, suelen perder los servicios prestados por las especies eliminadas en el proceso (Naeem et al., 2009). Por su parte, Perrings et al. (2011) señalan que muchos servicios ecosistémicos valiosos siguen siendo desatendidos, debido en parte a que los beneficiarios de esos servicios están distantes en el espacio o en el tiempo, aunque ahora se reconoce la interdependencia entre aspectos socioculturales y la biodiversidad, al comprender que son los agricultores quienes administran la agrobiodiversidad (MEA, 2005).

Sobre la importancia del enfoque de ecosistema para el estudio y conservación de la AB, que -según la CDB-, representa “una estrategia para la gestión integrada de los recursos esenciales a la producción agrícola, promoviendo su conservación y uso sostenible de modo socialmente equitativo”, integrando valores ecológicos, sociales, culturales y económicos. Por último, es preciso señalar que mientras la agricultura depende de los recursos de la biodiversidad para seguir produciendo, su expansión representa una de las principales causas de la degradación ambiental y pérdida de biodiversidad en el mundo. De ahí la importancia urgente de (re) valorar la biodiversidad presente en los diferentes entornos agrícolas, pecuarios o productivos y de diseñar e implementar mejores estrategias para su conservación y uso sostenible.

La tendencia general hacia una mayor intensificación agrícola, basada en la uniformidad y en el uso creciente de insumos externos, plantea interrogantes sobre la forma en que la agrobiodiversidad puede utilizarse para lograr rendimientos similares o superiores, apoyar los medios de subsistencia e invertir la tendencia hacia una mejor calidad medio ambiental (MEA, 2005). A partir de estas inquietudes han surgido estrategias alternativas orientadas hacia una agricultura ecológica y sostenible, promoviendo la conservación de los recursos y la biodiversidad. De manera conjunta, un análisis económico que incorpore los costos ambientales de la producción agrícola y pecuaria, consideraría la pérdida de biodiversidad como un costo a descontar de la rentabilidad aparente de los cultivos agroindustriales⁷ (Sarandón, 2010).

1.6. Conservación y uso sostenible de la agrobiodiversidad

Ante la intensificación y expansión de la agricultura a escala global, sumado al aumento en la degradación del suelo y fuentes de agua, la desertificación y la invasión agrícola en los márgenes de los bosques, junto con una mayor pérdida de biodiversidad, la conservación de la biodiversidad agrícola se vuelve crucial para el futuro de las generaciones y para el mantenimiento de las funciones y servicios ecológicos de los cuales la sociedad humana depende (Jackson et al., 2000). El rol que cumplen los pequeños agricultores en el manejo y conservación de la agrobiodiversidad es esencial; no solo aseguran el abastecimiento local de bienes y servicios, sino que, como se ha señalado reiteradamente, son en cierta forma los guardianes de la biodiversidad agrícola al conservar y reproducir las diferentes especies, variedades y razas que de otro modo se perderían (MEA, 2005). Por lo tanto, la conservación e innovación en agrobiodiversidad dependen del intercambio continuo de conocimientos, experiencias, semillas y técnicas de cultivo entre diferentes generaciones de agricultores, individuos y comunidades implicadas en el manejo sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad agrícola específicamente (PAR, 2018).

⁷ **Cultivos agroindustriales:** la agroindustria es la actividad económica que se dedica a la producción, industrialización y comercialización de productos agropecuarios, forestales y otros recursos naturales biológicos. Implica la agregación de valor a productos de la industria agropecuaria, silvícola y pesquera, entre otras.

Se ha demostrado que los sistemas productivos tradicionales manejados por pequeños productores o campesinos contienen una elevada biodiversidad comparada a los sistemas agrícolas convencionales basados en el monocultivo (Moguel y Toledo, 1999; Moreno y Casas, 2010), no obstante, la alta heterogeneidad de sus explotaciones, y las vinculaciones existentes entre agrobiodiversidad, tecnología y estrategias de producción campesina han sido poco analizadas hasta ahora (Cáceres, 2006). La utilización de diversas variedades tradicionales es un ejemplo de su importante contribución a la agrobiodiversidad del planeta (Jackson et al., 2007). Se ha constatado que en muchos agroecosistemas del mundo, los pequeños agricultores siguen utilizando variedades tradicionales de cultivos, por el hecho de presentar ventajas como rendimientos más estables, resistencia al estrés, tolerancia a plagas y enfermedades o por estar mejor adaptados a una agricultura de bajos insumos (Jackson et al., 2007).

Los bancos de semillas son la práctica de almacenamiento más común entre las estrategias de conservación *ex situ* para plantas cultivables, además del acopio de polen y/o ADN en bancos genéticos. En cambio, la conservación *in situ* incluye la conservación en reservas, fincas y huertos caseros (Love y Spaner, 2007). La conservación en fincas, conocido como método “*on farm*”, alienta a los agricultores a continuar con la selección y gestión de la agrobiodiversidad a nivel local, requiere su participación activa y es considerada una importante estrategia de conservación *in situ* (Love y Spaner, 2007). Partiendo de la multifuncionalidad de la agrobiodiversidad como tema central, la investigación en agroecosistemas y la gestión adaptativa de los agricultores, fomenta la adopción de “prácticas basadas en la biodiversidad”, como parte de las estrategias para una agricultura sostenible (FAO, 2003; Jackson et al., 2007).

Los beneficios sociales que se derivan de la conservación de la biodiversidad requieren cuantificar su valor propio, que de otro modo se perdería con la disminución de la agrobiodiversidad (Perrings et al., 2011), esta valorización socio cultural se enfoca hacia valores éticos, culturales o espirituales de las poblaciones que cohabitan el paisaje agrícola, más allá de los servicios ecológicos conocidos

(Jackson et al., 2007). Un beneficio social tangible es el mejoramiento de las dietas alimenticias de las familias rurales, a través de la diversificación y el mantenimiento de la biodiversidad agrícola, así como la revalorización de sus saberes y experiencias de manejo. Sin embargo, el conjunto más amplio de valores intrínsecos y sociales que esta proporciona ha sido, hasta cierto punto, ignorado por gran parte de la comunidad científica que realiza investigaciones agrícolas (Jackson et al., 2007).

Por otro lado, ciertos mecanismos basados en el mercado podrían contribuir a conservar la biodiversidad y se enumeran entre las principales estrategias de conservación planteadas a nivel internacional (MEA, 2005; Perrings et al., 2007). La idea del "pago por servicios ambientales" ha ganado interés entre las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, pero todavía requiere de una mejor comprensión del valor a largo plazo de estos servicios, así como de los marcos de negociación y financiamiento (Perrings et al., 2007). La sociedad tendrá que invertir más en investigación sobre agrobiodiversidad así como en su conservación, sin por ello delimitarla a una valoración estrictamente material como fuente de recursos genéticos, sino como parte de un sistema ecológico mucho más amplio y complejo del cual el futuro de la agricultura, la alimentación y el bienestar humano dependen (Jackson et al., 2007).

1.7. Importancia de una agricultura sostenible

En los últimos cincuenta años, los patrones de la expansión agrícola a nivel mundial, principalmente en zonas tropicales y subtropicales, han provocado la reducción de la diversidad biológica y sus servicios derivados, socavando el sostenimiento a largo plazo de la producción agrícola (CDB, 2006). Sin embargo, la agricultura no debería culparse precipitadamente, sino al contrario, considerarla como parte de las soluciones; la agricultura sostenible puede contribuir a la conservación de la biodiversidad, siempre que sus prácticas sean ambientalmente sostenibles y se apueste por el mantenimiento y conservación de los recursos y la biodiversidad en el predio (MEA, 2005). A nivel internacional, existen marcos de asesoramiento y evaluación como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, que promueven la agricultura sostenible entre otras estrategias de largo plazo para

consolidar e integrar la producción agrícola, la seguridad alimentaria y la conservación de los ecosistemas en metas concretas y comunes a todos los países firmantes del CDB (CDB, 2019).

La agricultura sostenible contribuiría a contrarrestar la pérdida de biodiversidad en entornos agropecuarios y productivos en general, ofreciendo nuevas estrategias de producción económicamente rentables, socialmente justas y ecológicamente sustentables, que puedan adaptarse a escala local y contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria de los pequeños agricultores, promoviendo la diversificación de los agroecosistemas y el rescate de los conocimientos y prácticas tradicionales (CDB, 2006). Dicho de otro modo, se propone intensificar la producción alimentaria, mediante un manejo sostenible de los recursos de los cuales esta depende y promoviendo la diversificación de los agroecosistemas (Altieri, 1987; Gliessman, 2000; PANN, 2009). Las prácticas agrícolas sostenibles tratan además de conservar la diversidad de especies nativas, por importantes razones como el proveer una mejor nutrición a los agricultores y/o por ser su producción menos costosa que los cultivos comerciales (Sarandón, 2010).

En el presente siglo, los nuevos modelos de desarrollo deben redirigir el apoyo político, institucional y académico hacia la toma de decisiones ambientalmente sostenibles y socialmente justas en cuanto a la producción agrícola y hacia el consenso de marcos regulatorios mejor adaptados y formulados desde un enfoque horizontal que involucre a los pequeños agricultores, a fin de revertir los efectos negativos de la agricultura moderna. Actualmente, las políticas de muchos países se articulan en torno a modelos definidos desde los tratados y convenios internacionales como el CDB (1993), el Tratado Internacional “de las semillas” (TRFAA, 2001) o el Programa de Desarrollo Sostenible para 2030 y los ODS (ONU, 2015), con objetivos que van desde la erradicación de la pobreza y el hambre hasta la mitigación al cambio climático y el mantenimiento de los recursos naturales no renovables, metas donde la conservación de la biodiversidad y la promoción de formas de agricultura ecológicamente sostenible, ocupan un lugar central.

CAPÍTULO 2. Conceptos y herramientas metodológicas

En este capítulo se abordarán desde los métodos y conceptos “clásicos” más conocidos para el estudio de la biodiversidad, hasta aquellos procedimientos aplicados desde una escala de paisaje, y otros métodos de investigación participativa para evaluar la biodiversidad agrícola.

Durante más de un siglo, se han propuesto numerosas aproximaciones para describir cuantitativamente la diversidad biológica y su variación espacio temporal. Como ejemplos, se pueden mencionar el coeficiente que compara la similitud de las comunidades ecológicas (Jaccard, 1908), la fórmula que describe la relación especies-área (Arrhenius, 1921) o los índices de biodiversidad, como el de Shannon-Wiener (Shannon, 1948; Wiener, 1948), basado en modelos informáticos, o el de Simpson (1949), aplicado a términos de riqueza, abundancia o similitud. Actualmente, la amplia disponibilidad de bases de datos electrónicas, la información proveniente de sensores remotos, el surgimiento de nuevas herramientas de análisis espacial y el uso de sistemas de información geográfica han permitido estudiar y entender de manera más eficiente los patrones de biodiversidad a diferentes escalas espaciales (Martínez y Zuria, 2019).

Para un entendimiento integral y sistémico de la agrobiodiversidad, esta puede ser analizada desde sus diferentes componentes y/o escalas espaciales, observando las interacciones a lo interno del agroecosistema y con su entorno. El paisaje agrícola (PA), que incluye diferentes mosaicos de ecosistemas agrícolas y no agrícolas, es reconocido como un importante nicho para la biodiversidad (Jackson et al., 2005). Conectados entre sí y compuestos por diferentes estados de sucesión temprana y tardía, tienen más probabilidades de albergar biota que contribuya a regular y apoyar los servicios ecosistémicos, en comparación con otros paisajes más simplificados (MEA, 2005).

2.1. Métodos clásicos para cuantificar la biodiversidad

En ecología de comunidades no es posible registrar o detectar todas las especies presentes en un momento y lugar determinado (MacArthur, 1965). En consecuencia,

conocer, describir y comparar la magnitud de la diversidad biológica en una escala y nivel de organización determinada, se basa inevitablemente en estimaciones a partir de muestras, en las cuales se han medido al menos dos atributos de la diversidad; usualmente la riqueza⁸ y la abundancia⁹ de especies (Magurran, 2004).

Por lo tanto, una caracterización de dicha comunidad consiste en identificar a las especies que incluye junto con sus abundancias relativas. Sin embargo, en la práctica, hacer un recuento completo de la comunidad biológica resulta demasiado complejo, por lo que esta cuantificación suele limitarse a ciertos taxones de una submuestra específica en un área espacialmente determinada (Moreno, 2000; Martella et al., 2012). El número de especies registradas dependerá del esfuerzo de muestreo, de la escala espacio-temporal, de la heterogeneidad del paisaje y/o de los métodos empleados. A fin de efectuar una caracterización acertada, se recomienda aplicar diseños de muestreo que permitan obtener datos representativos y comparables con otros estudios (Moreno, 2000).

Conviene resaltar la importancia que tiene la toma de datos con base en un diseño experimental apropiado y conforme a los objetivos específicos de la investigación. Es necesario hacer suficientes réplicas de muestreo para complementar el valor del índice obtenido con alguna medida de dispersión de los datos (varianza, desviación estándar o coeficiente de variación) o para estimar el valor mínimo y máximo del índice bajo las condiciones del muestreo. Un aspecto crítico del análisis es asegurarse que las réplicas estén dispersas apropiadamente en el sitio, de acuerdo con la hipótesis probada y considerar la variación en la composición de las comunidades biológicas (Moreno, 2000).

Para medir la biodiversidad, esta se ha categorizado en componentes alfa, beta y gamma. La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular

8 **Riqueza de especies:** es el número total de especies que se encuentran en un hábitat, ecosistema, paisaje, área o región determinada (Magurran, 2004). Se explica en pág. 20.

9 **Abundancia relativa de especies:** es la proporción de una especie o taxón respecto a todas las especies o taxones contenidos en un sitio. Es un componente de la biodiversidad y se refiere a cuan común o rara es una especie en comparación a otras especies en una comunidad biológica o sitio definido.

considerada homogénea. La diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo¹⁰ en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje. Finalmente la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, siendo resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker, 1972).

2.2. Conceptos metodológicos de evaluación

Un número creciente de estudios se ha enfocado en entender los factores que determinan los patrones de biodiversidad en paisajes agrícolas a diferentes escalas (Arroyo et al., 2019). Este ha sido un tema emergente dentro de las ciencias biológicas, y en las últimas décadas ha aumentado el número de modelos teóricos que explican los patrones, procesos y mecanismos que determinan la distribución y abundancia de especies en PA. Estos avances han sido posibles gracias al desarrollo de herramientas de análisis más robustas que contribuyen a una mayor capacidad predictiva de los factores que modelan la biodiversidad en paisajes agrícolas (Arroyo et al., 2019).

Los modelos y debates sobre la biodiversidad están creciendo en complejidad, desde los primeros modelos basados en factores locales (tamaño, aislamiento, forma y cantidad de parches de hábitat) a los modelos actuales basados en atributos del paisaje (proporción de cobertura, calidad de hábitats, movilidad de especies) (Arroyo et al., 2019). Dicha complejidad también está asociada a la incorporación de variables de respuesta a nivel de comunidad, incorporando las medidas clásicas de diversidad. Los modelos son, de esta manera, cada vez más realistas; pasando de modelos basados en paisajes binarios (parche-matriz), a modelos basados en analizar la complejidad del mosaico de coberturas presentes en el paisaje (Arroyo et al., 2017). A continuación se presentan diversos conceptos considerados clave para el estudio de la biodiversidad en entornos agrícolas, dichos conceptos provienen de aproximaciones a la diversidad biológica pero enfocándose hacia los agroecosistemas y una perspectiva de paisaje.

¹⁰ **Recambio de especies:** es el cambio en la composición y estructura de las comunidades de una unidad de muestreo a otra, a lo largo de un gradiente espacial, temporal o ambiental (Anderson et al., 2011).

Escala

La escala se refiere a la dimensión espacial o temporal de un objeto o proceso y está constituida por dos componentes: la resolución y la extensión. La resolución hace referencia a la precisión de una medición (tamaño del cuadrante, frecuencia de muestreo), mientras que la extensión refiere a la dimensión espacio-temporal del estudio (dimensión del área total, duración del estudio). La resolución y la extensión pueden variar de manera independiente; sin embargo, existe un cierto grado de correlación negativa (Arroyo et al., 2019). La escala es un concepto fundamental en estudios biológicos y ecológicos ya que las causas y las consecuencias de los patrones observados, dependen en gran parte de la escala de análisis. Es frecuente que para muchos estudios, los datos sean obtenidos a escalas espacio-temporales muy precisas, lo cual impide hacer inferencias o proyecciones a escalas más amplias (Arroyo et al., 2019).

Paisaje

Este término tiene un sentido intuitivo, normalmente se considera como una extensión de territorio que se puede observar desde un punto prominente y en el que se pueden distinguir los diferentes elementos que lo componen. Sin embargo, para la ecología del paisaje y en general para aquellas disciplinas cuyo ámbito de estudio es un área explícita, el paisaje es un área espacialmente heterogénea en al menos un factor de interés (Turner et al., 2001; Arroyo et al., 2019). De manera que su definición no está circunscrita a una escala específica, sino que puede adaptarse a cualquier amplitud espacial en función de la pregunta de investigación. La heterogeneidad o estructura del paisaje incluye dos componentes: composición y configuración espacial (Fahrig et al., 2011). La composición del paisaje depende del tipo y cantidad de cada cobertura, mientras que la configuración refiere al arreglo espacial o fisionómico de estas (Arroyo et al., 2019).

Información bioclimática

Las variables bioclimáticas se derivan de factores climáticos que se asume son más significativos biológicamente (Arroyo et al., 2019). Algunas de estas variables son por ejemplo, la temperatura promedio anual o los rangos de precipitación. Estas

variables se usan comúnmente para hacer modelos de distribución potencial de las especies y para analizar la contribución relativa de las variables ambientales en los componentes alfa y beta de la diversidad taxonómica, filogenética y funcional (Arroyo et al., 2019). Esta información puede ser plasmada en mapas de presencia de especies, con base a sus requerimientos de hábitat, cotejados con dichas variables bioclimáticas.

Hábitat y cobertura del terreno

El hábitat puede definirse como el conjunto de recursos o condiciones presentes en un área que permiten que pueda ser ocupada por un individuo, incluyendo su supervivencia y reproducción. El concepto es por lo tanto individuo-específico, aunque aplica para estimar la presencia de una población o especie en su conjunto, como consecuencia de sumar las características que permiten que varios individuos ocupen el mismo hábitat (Arroyo et al., 2019). A una determinada escala espacial, la cobertura del terreno refiere a los tipos de vegetación o estructura, a los tipos de uso del suelo o a otro conjunto de elementos que compongan un paisaje y que puedan ser medidos o caracterizados de manera espacialmente explícita (Arroyo et al., 2019).

Riqueza de especies y composición

Se define como el número de elementos diferentes presentes a una escala y nivel de organización determinados. Así, la riqueza constituye la medida básica, intuitiva y directa de la diversidad de elementos (Cultid y Escobar, 2019). Por esta razón, en ecología de comunidades y en la mayoría de estudios sobre biodiversidad en vertebrados es la medida más común y tal vez la única medida considerada para análisis comparativos (MacArthur, 1965; Cultid y Escobar, 2019). Al medir la riqueza, también se define a la composición, la cual hace referencia a la identidad de los diferentes elementos que componen a la riqueza, dicha composición está representada por el nombre científico, que agrupa el género y la especie.

Al realizar trabajo de campo para conocer la riqueza de un sitio, las especies detectadas aumentan al incrementarse el esfuerzo de muestreo, por lo que la

riqueza registrada dependerá del esfuerzo de muestreo y de la extensión muestral. Se subestima la riqueza real al haber siempre especies no detectadas, por lo tanto, es necesario estimar las especies aún no detectadas para conocer la riqueza real. Los inventarios de especies son el insumo básico para la caracterización de una comunidad biológica o para comparar comunidades bajo diferentes condiciones ambientales (Pineda, 2019).

Los estimadores de riqueza

Necesitan de un esfuerzo de muestreo suficiente y de diseños adecuados para producir estimaciones confiables, se asume que la riqueza estimada no se puede extrapolar a áreas mucho mayores a la muestreada (Pineda, 2019). En los primeros años de la década de 1990, se desarrollaron estimadores ahora muy conocidos; por ejemplo, Chao y Lee (1992) y Chao *et al.* (1993) desarrollaron un estimador ahora conocido como ACE (*Abundance Coverage Estimator*). Colwell y Coddington (1994) publicaron un artículo de revisión sobre la estimación de la biodiversidad terrestre con base en la extrapolación de datos. En esos mismos años también se analizaron las curvas de acumulación de especies como estimadores de riqueza (Soberón y Llorente, 1993).

Área de distribución y modelos de nicho ecológico

La unidad básica en biogeografía¹¹ es el área de distribución, sin embargo, tanto el concepto como la delimitación empírica de las áreas de distribución son aún grandes retos, a pesar de los distintos métodos existentes (Mota et al., 2019). La definición de área de distribución ha sido muy discutida pero quizá la definición más utilizada es aquella que se refiere al área total en la cual se presenta un determinado taxón (Mota et al., 2019).

En ecología, el nicho es una propiedad que describe a una especie o población en un ecosistema específico (Mota et al., 2019). Una definición general es la que describe al nicho como un hiper-volumen multidimensional que incluye todos los factores bióticos y abióticos con los que el organismo se relaciona, este hiper-

¹¹ **Biogeografía:** disciplina científica que estudia la distribución geográfica de los seres vivos en la tierra. Se aborda este concepto en pág. 26.

volumen presenta n dimensiones, donde cada dimensión corresponde a los factores mencionados. Una de las primeras aplicaciones de los modelos de nicho ecológico (MNE o MDE) fue la delimitación de las áreas potenciales de distribución de determinadas especies o población (Mota et al., 2019).

Percepción remota

Las imágenes de sensores remotos se han utilizado principalmente para obtener información sobre las coberturas del terreno y su condición, y en ocasiones han permitido estimar la biodiversidad de algún grupo biológico a nivel de paisaje (Martínez y Zuria, 2019). Las estimaciones de biodiversidad por este medio se han enfocado en obtener mapas de biodiversidad en zonas específicas y se han basado en la hipótesis de la variación espectral (Gould, 2000). Esta hipótesis dice que la heterogeneidad espectral en la imagen está relacionada con la heterogeneidad ambiental y, por tanto, se puede utilizar como una medida de la diversidad de especies (Martínez y Zuria, 2019).

Registros de presencia

Los registros de presencia, también llamados localidades de presencia, son coordenadas geográficas; es decir, datos puntuales de latitud y longitud en donde se ha registrado la presencia de determinada especie (Mota et al., 2019). Para su obtención, existen diversas fuentes de información tales como: a) la observación directa en campo; b) la literatura especializada; c) las colecciones científicas, que representan una de las principales y más confiables fuentes debido a que cuentan con ejemplares de respaldo; y d) las bases de datos compiladas y disponibles en internet, entre las que destacan el portal de la Infraestructura Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés; disponible en <https://www.gbif.org>); la Red Mundial de información sobre Biodiversidad (REMIB, disponible en http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html) o para el caso de México, el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB disponible en <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/snib.html>) (Mota et al., 2019).

Métrica paisajística

El interés por medir los patrones paisajísticos de la biodiversidad ha sido guiado por la premisa de que los patrones y procesos biológicos están ligados o pueden predecirse por algún patrón espacial a una determinada escala. El esquema de clasificación del paisaje debe estar en función de la pregunta de investigación y debe ser aplicado de manera consistente si se están comparando paisajes en espacio y tiempo (Martínez y Zuria, 2019). La escala es otro elemento importante para considerar ya que la definición de la extensión y resolución de un paisaje incide en la cuantificación de sus patrones espaciales; esto es particularmente relevante si se están comparando diferentes paisajes o un mismo paisaje en diferentes tiempos. En términos generales, la métrica paisajística puede ser agrupada dentro de tres categorías principales: la métrica de composición paisajística, la de configuración espacial y los fractales (Martínez y Zuria, 2019).

a) Métrica de composición paisajística: este tipo de métrica no es espacialmente explícita; mide las coberturas vegetales que están presentes y sus proporciones, sin hacer referencia a dónde se localizan en el paisaje. A pesar de lo anterior, es importante porque define los límites de los valores de la métrica que sí es espacialmente explícita. Por ejemplo, una alta proporción de un tipo de cobertura puede significar que dicha cobertura tiene un mayor grado de conectividad que otra con una menor proporción. Ejemplos de este tipo de métrica son la proporción, la riqueza absoluta o relativa y la diversidad o dominancia de las coberturas, entre otras (Martínez y Zuria, 2019).

b) Métrica de configuración espacial: a diferencia de la métrica anterior, esta sí es espacialmente explícita, al determinar la distribución de las coberturas en el paisaje. Puede ser expresada a nivel de coberturas o de fragmentos. Ejemplos de este tipo de métrica son: la probabilidad de adyacencia, la conectividad, el área y perímetro del fragmento, el índice de proximidad, entre otros (Martínez y Zuria, 2019).

c) Fractales: la dimensión fractal ha sido empleada como una medida de la complejidad de los patrones paisajísticos cuando se comparan diferentes paisajes o cambios en el tiempo de un mismo paisaje, así como fragmentos de diferente

tamaño. Un buen ejemplo de este tipo de métrica es precisamente la dimensión fractal de los fragmentos o “parches”, como un indicador del nivel de degradación del paisaje (Martínez y Zuria, 2019).

Tipos de disturbios en paisajes antrópicos

Dependiendo de su duración, los disturbios humanos se pueden clasificar como agudos (corta duración) o crónicos (larga duración). Otros autores los han denominado como perturbación “de pulso” y “de presión”, respectivamente (Bender et al., 1984). Se ha documentado ampliamente acerca del impacto de los disturbios crónicos sobre la biodiversidad en paisajes agrícolas, pero fue Singh (1998) el primero en sugerir que la principal causa de degradación en ecosistemas terrestres son los disturbios humanos. La homogeneización de los paisajes naturales y agrícolas resulta en una lenta, pero progresiva degradación ecológica que debemos aprender a medir, para saber como prevenir y revertir sus efectos (Arroyo et al., 2019).

A pesar de su importancia, el efecto de estos disturbios sobre la biodiversidad en agroecosistemas apenas comienza a estudiarse, especialmente a escala de paisaje (Rito et al., 2017; Arroyo et al., 2019). Esto es en gran parte debido a la dificultad de cuantificarlos en campo, pues para ello se requieren estudios de largo plazo. Aunque algunos autores están optando por medidas indirectas, como la distancia a centros urbanos y caminos, la densidad poblacional o del ganado vacuno, para estimar la degradación. Otros proponen medidas directas a nivel local, como la densidad de caminos creados por el ganado, la densidad de excretas por área o la cantidad de árboles talados (Arroyo et al., 2019).

Hipótesis del disturbio intermedio

La mayoría de los hábitats están expuestos a disturbios, estos pueden ser cualquier evento que cambie el hábitat, generalmente de forma súbita y, según su magnitud o duración, se podrán observar por ejemplo, cambios en la distribución o abundancia de las especies en el sitio (Moreno, 2000). Esta hipótesis sostiene que en ecosistemas maduros, la presencia de perturbaciones intermedias permite mantener

niveles de riqueza de especies y de biodiversidad mayores a los que habría en ausencia de dichas perturbaciones (Fahrig y Merriam, 1994). En ausencia de perturbaciones solo sería posible encontrar organismos especialistas, mientras que perturbaciones pequeñas no tendrían efecto alguno sobre la biodiversidad y perturbaciones grandes conducen a una disminución de la misma debido al deterioro drástico del hábitat (Fahrig, 2003; Moreno et al., 2019).

En relación a lo anterior, es pertinente abordar el concepto de “deuda de extinción” propuesto por Tilman et al. (1994), quienes demostraron que la extinción de especies no ocurre inmediatamente después del disturbio, sino que existe un tiempo de retraso en la respuesta de las especies. Este tema representa un gran reto en ecología tropical, ya que la mayoría de los paisajes tropicales conocidos han sido transformados recientemente (<50 años aproximadamente) y muchas de las especies que aún podemos observar en los agroecosistemas, quizás estén destinadas a desaparecer en las próximas décadas (Arroyo et al., 2019), es el caso de importantes insectos polinizadores como las abejas.

Fragmento o “parche”

El concepto de parche o fragmento en ecología se refiere usualmente a áreas relativamente discretas, con condiciones ambientales homogéneas en relación a una o más variables relevantes para la escala y el organismo o fenómeno ecológico de estudio (Wiens, 1976). A mayor escala, los territorios que han sufrido cambios de uso de suelo como consecuencia de actividades productivas, suelen presentar pequeños parches de vegetación nativa, conocidos como remanentes (Arroyo et al., 2019).

Fragmentación del hábitat

Es frecuentemente definido como un proceso a escala de paisaje, mediante el cual un hábitat continuo es subdividido en parches más pequeños, inmersos en una matriz diferente al hábitat original (Arroyo et al., 2019). Se trata de un atributo de la configuración espacial del hábitat en el paisaje, usualmente medido como el número o densidad de parches de hábitat, aunque puede ser medida a través de otros

índices (Jaeger, 2000; Arroyo et al., 2019), se reconoce que su efecto sobre la diversidad puede ser variable (Fahrig, 2003).

Como esta definición implica que la fragmentación resulta en pérdida de hábitat, varios autores han defendido que ambos procesos son inseparables, por lo que no se puede medir su efecto independientemente de la biodiversidad (Arroyo et al, 2019). Por otro lado, nuevos estudios han evaluado el efecto de la fragmentación manteniendo la cantidad de hábitat constante, con lo que Fahrig (2003) ha denominado la “fragmentación *per se*”. La fragmentación es considerada una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad y por ser un proceso complejo, no se debería abordar como un fenómeno lineal (Arroyo et al, 2019).

Efectos de borde

Ha sido tradicionalmente definido en ecología como el aumento en el número de especies e individuos en la unión entre dos comunidades diferentes (ecotono¹²). Dicho aumento de biodiversidad en los ecotonos naturales fue demostrado en varios trabajos del siglo pasado, y con base en este patrón, Harris (1988), entre otros autores, propusieron la creación de bordes como estrategia para mantener biodiversidad en el paisaje (Arroyo et al, 2019). El tamaño o profundidad de la franja de hábitat afectada por los efectos de borde es denominada “influencia del borde” y puede variar mucho dependiendo de diversos factores, como el tipo de matriz antrópica, la edad del borde, su orientación o la pendiente del terreno (Arroyo et al, 2019). Esta variación ha limitado la capacidad de predicción sobre los efectos de borde, hoy se sabe que muchas especies evitan los bordes y responden negativamente, mientras que otras se ven atraídas y beneficiadas por ellos (Pfeifer et al., 2017), lo que ha generado debate acerca de su papel en el mantenimiento de especies en los paisajes agrícolas (Arroyo et al, 2019).

Teoría de biogeografía de islas

Propuesta por MacArthur y Wilson en 1963, postula que el número de especies presente en una isla es el resultado de un equilibrio dinámico entre la tasa de

¹² **Ecotono:** Del griego “*oikos*” o casa y “*tonos*” o tensión. Corresponde a una determinada zona de transición entre dos o más comunidades ecológicas distintas.

inmigración de nuevas especies y la tasa de extinción local de especies. Las tasas de colonización y extinción dependerán del tamaño de la isla y de la distancia al continente. Se asume que la tasa de colonización será mayor en islas cercanas al continente que en islas lejanas y que la tasa de extinción será mayor en islas pequeñas, donde se espera encontrar poblaciones más pequeñas (Arroyo et al., 2019).

Aunque esta teoría trata de explicar patrones de riqueza de especies en sistemas insulares, influyó profundamente en el estudio de PA, debido a la analogía que existe entre las islas de sistemas insulares y los parches de hábitat en paisajes fragmentados (Arroyo et al., 2019). Se considera el primer modelo teórico para explicar los patrones de diversidad en estos paisajes, y sus predicciones fueron empleadas como criterio en el diseño de reservas naturales (Arroyo et al., 2019). Sin embargo, a pesar de su importancia en ecología y biología de la conservación, la analogía entre sistemas insulares y paisajes fragmentados ha sido muy criticada, ya que la matriz que rodea los parches de hábitat (campos agrícolas, pastizales, asentamientos humanos) no siempre es inhóspita e inutilizable por las especies, como sí lo es la matriz acuática que rodea a las islas (Laurance, 2008).

Modelos de biogeografía rural

El concepto de biogeografía rural fue propuesto por Daily (1997) para el estudio de la biodiversidad en agroecosistemas y surge de la necesidad de evaluar patrones de diversidad en paisajes heterogéneos, donde los diferentes tipos de coberturas pueden representar hábitats de diferente calidad para las especies, de forma que éstas pueden ocurrir en diferentes densidades y abundancias en cada cobertura. Así, cada cobertura y elemento del paisaje tiene funciones ecológicas diferentes, por lo que puede tener impactos distintos sobre la biodiversidad y los procesos y servicios ecosistémicos que proveen (Daily, 1997; Fahrig et al., 2011). Dicha teoría se basa en el supuesto de que los parches de hábitat son los únicos elementos del paisaje que pueden albergar especies, sin embargo, este supuesto no siempre se cumple en paisajes agrícolas, por lo que es importante abordar otros elementos para analizar íntegramente a la agrobiodiversidad (Arroyo et al., 2019).

Trayectorias de cambio de uso del suelo

Los estudios en paisajes agrícolas se han centrado en entender el efecto de los patrones espaciales de cambio de uso del suelo sobre la biodiversidad. Para ello, se ha destacado la importancia de considerar la escala temporal de análisis (Tilman et al., 1994), siendo primordiales las trayectorias históricas de los cambios de uso de suelo para hacer evaluaciones de la biodiversidad en PA. Fahrig y Merriam (1994) llamaron la atención sobre este problema al destacar que los PA son muy dinámicos y cambian su estructura espacial a través del tiempo, de ahí la importancia de profundizar en estudios longitudinales para entender mejor estas dinámicas. En relación con lo anterior, Ewers et al., (2013) proponen el concepto de “terrageria” para referirse al parentesco histórico entre parches de hábitat. Del mismo modo que la filogenia establece las relaciones de parentesco entre especies, la terrageria permite agrupar o diferenciar diferentes parches, según su tiempo de aislamiento o fragmentación (Arroyo et al., 2019).

Hipótesis de la divergencia del paisaje

La hipótesis de la divergencia del paisaje fue propuesta para explicar la disimilitud composicional (diversidad beta) entre PA que inicialmente tenían una composición similar (Laurance et al., 2007). La hipótesis se basa en el hecho de que los efectos de borde y otros disturbios locales son impredecibles y altamente dinámicos. Por tanto, los cambios temporales y espaciales en dichos disturbios, muchos de ellos dependientes del tipo de matriz antrópica, resultan en trayectorias sucesionales diferentes e impredecibles en cada PA, aumentando las diferencias en composición entre paisajes (Arroyo et al., 2019). Aunque inicialmente dicha diferenciación es a nivel taxonómico, eventualmente puede causar una diferenciación funcional, que puede resultar a su vez, en paisajes funcionalmente contrastantes (Arroyo et al., 2019).

Hipótesis de la dominancia de beta

Fue propuesta por Tschardt et al. (2012) para explicar el mantenimiento de la diversidad gamma en PA, a pesar de la pérdida de especies a nivel local (diversidad alfa). Esta hipótesis postula que el aumento en la diversidad beta en paisajes más

heterogéneos puede contrarrestar la pérdida de especies a nivel local, permitiendo mantener niveles originales de diversidad total (gamma) en el paisaje (Arroyo et al., 2019). Así, aunque niveles bajos o intermedios de disturbio pueden llevar a la pérdida de algunas especies a nivel local, el efecto positivo que tienen sobre la diversidad beta contribuye a mantener la diversidad gamma. Estos hallazgos son consistentes con la idea de que la fragmentación *per se* tendría efectos positivos sobre la biodiversidad en su conjunto (Fahrig, 2017), por lo que mantener varios parches pequeños en el paisaje favorecería más la BD que mantener la misma área conservada en un solo parche de gran tamaño (Arroyo et al., 2019).

Hipótesis del conjunto regional de especies

Esta hipótesis también fue retomada por Tschardt et al. (2012) en el contexto de paisajes agrícolas, y la denominan "*landscape species pool hypothesis*"¹³. Estos autores sostienen que la diversidad total del paisaje está dada por la suma de las diversidades de cada una de las coberturas que componen dicho paisaje. Por lo tanto, si existe suficiente conectividad para permitir el recambio de especies entre coberturas, cuanto mayor sea la diversidad del paisaje, mayor será la diversidad encontrada a nivel local en cada cobertura. Se espera entonces, que los paisajes estructuralmente más heterogéneos mantengan mayor diversidad a nivel local y de paisaje (Tschardt et al., 2012; Arroyo et al., 2019).

2.3. Un enfoque transdisciplinario para estimar la agrobiodiversidad

La biodiversidad presente en cualquier paisaje es el resultado de interacciones entre procesos ecológicos, bioquímicos, socio culturales y hasta políticos o económicos. Por esta razón, evaluar la agrobiodiversidad requiere de estudios que trasciendan las perspectivas mono disciplinarias (Jackson et al., 2005). Analizar la diversidad de variedades de cultivos, de animales de crianza y plantas silvestres, así como sus diferentes usos, tipos de manejo y valor cultural asociado, es un paso importante para su divulgación, conservación y uso sostenible (MEA, 2018).

¹³ *Hipótesis del conjunto de especies en paisaje* (traducción libre).

Aunque la información sobre la diversidad de cultivos, animales y plantas silvestres se suele reunir por separado, los diferentes componentes de la agrobiodiversidad dependen unos de otros y deben ser valorados como parte integral de un sistema agroecológico gestionado por las comunidades locales (PAR, 2018). De igual modo, por estar la agrobiodiversidad vinculada a los conocimientos, experiencias y decisiones de los agricultores, es necesario integrar el enfoque sociocultural en la caracterización de la agrobiodiversidad (Iermanó et al., 2015). Idealmente, todos los aspectos del proceso investigativo deben examinarse y acordarse previamente con la(s) comunidad(es), a fin de llegar a una comprensión y formulación consensuada de los métodos, tipo de análisis y objetivos de compilar y procesar datos sobre la diversidad agrícola (PAR, 2018).

Los enfoques transdisciplinarios incluyen formas innovadoras de participación y desarrollo científico; desde el trabajo con las comunidades locales y la participación de investigadores de diferentes disciplinas, organismos e instituciones afines, inclusive a los encargados de formular políticas públicas. La mejor manera de realizar estudios sobre la agrobiodiversidad es mediante procesos de investigación participativa (PAR, 2018). La investigación participativa en agrobiodiversidad requiere, además de un cambio en los esquemas tradicionales científico-académicos, de una relación colaborativa y menos vertical entre los miembros de la comunidad, las instituciones u organizaciones locales y los investigadores. En lugar de ser sujetos pasivos de estudio, los agricultores se vuelven protagonistas e impulsores de su propio desarrollo, desde una valorización de sus propias experiencias y conocimientos.

Algunos temas relacionados a los conocimientos tradicionales, importantes para el estudio de la agrobiodiversidad, incluyen los sistemas de clasificación local (etno-taxonomías), las prácticas y sistemas de gestión de los recursos, así como los diversos usos, valores y creencias de las personas que conocen y manejan la agrobiodiversidad (PAR, 2018). La información sobre la agrobiodiversidad se reúne utilizando una combinación de métodos cuantitativos (encuestas, cuestionarios) y cualitativos (grupos de discusión, entrevistas abiertas, etc). Observaciones y ensayos en campo, inventarios de especies, análisis de la composición nutricional,

identificación de plagas y enfermedades, tele-detección, mapeo y estudios de genética molecular son sólo algunos de los métodos que pueden utilizarse para obtener datos adicionales y complementar el estudio sobre la agrobiodiversidad en un espacio-tiempo determinado (PAR, 2018).

2.3.1. Técnicas participativas de investigación

Las encuestas en hogares, las Discusiones en Grupos Focales (DGF) y las entrevistas con informantes clave son los principales métodos participativos para reunir información sobre agrobiodiversidad, asimismo, hay varias técnicas para la recopilación sistemática de datos que pueden aplicarse, modificarse y combinarse. Otras técnicas participativas para la evaluación de la agrobiodiversidad son por ejemplo las listas de especies, variedades y razas manejadas (presentes o extintas), elaboración de diagramas y mapas del predio, grupos de discusión y métodos de muestreo en campo mediante cuadrantes o transectos, entre otros (PAR, 2018).

La información reunida en las DGF se basa en los conocimientos locales y en las experiencias, creencias, percepciones y actitudes de los participantes. Se trata de una discusión moderada entre los participantes y no necesariamente del investigador hacia los participantes. Las reuniones de grupos focales no sólo sirven para que el investigador o el facilitador obtenga información, sino que también brindan a los participantes la oportunidad de intercambiar información y experiencias entre ellos mismos. Las discusiones pueden organizarse en torno a un conjunto de preguntas abiertas sobre un tema específico o varios y pueden complementarse con otras técnicas como la puntuación, la clasificación y la diagramación para obtener información de manera ordenada (PAR, 2018). Cabe señalar que los cambios estacionales tienen una gran influencia en la gestión y utilización de la agrobiodiversidad, por lo cual se recomienda considerar dichas variaciones y sobre cómo afectan las actividades agrícolas, la ordenación del ganado o la disponibilidad y recolección de plantas silvestres (PAR, 2018).

a) Las encuestas en hogares se utilizan para reunir información sobre biodiversidad a partir de una muestra representativa de una comunidad o zona determinada

mediante un cuestionario. El objetivo es generar datos y estadísticas sobre la biodiversidad, las prácticas de manejo y producción e identificar las limitaciones y oportunidades relacionadas. La encuesta puede adoptar la forma de entrevistas estructuradas que incluyen un conjunto de preguntas sencillas de respuesta corta. Cada pregunta se formula de la misma manera a cada informante, puede ser de respuesta abierta o cerrada y solicitar algún tipo de puntuación o clasificación predeterminada (PAR, 2018).

b) El análisis de cuatro células (ACC) es un método participativo para evaluar la abundancia y distribución de los cultivos y la diversidad de variedades en una comunidad o paisaje. Se utiliza para reunir información sobre la diversidad de especies y variedades de cultivos, árboles o plantas silvestres en las granjas, jardines o huertos caseros. El método se basa en resultados de grupos de discusión con miembros de la comunidad y proporciona una forma de evaluación para identificar, por ejemplo: la cantidad y distribución de cultivos o variedades, los cultivos o variedades más comunes y los que son únicos, raros o en peligro de extinción (PAR, 2018).

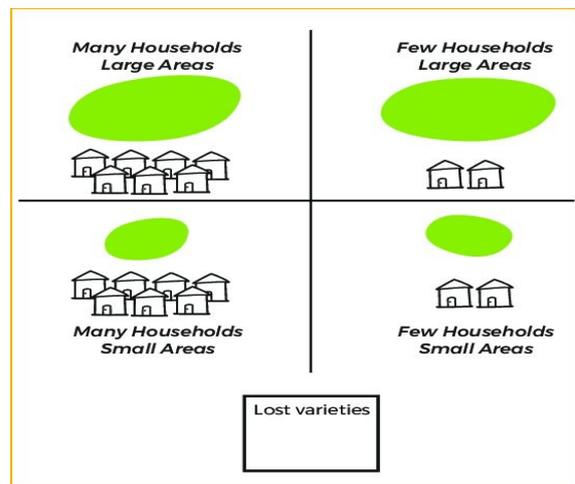


Figura 1: Diseño de un ACC para estimar la diversidad de cultivos o variedades (PAR, 2018)

Durante el debate del grupo de discusión, los participantes desarrollan una descripción de la importancia o la frecuencia del cultivo o la variedad, declarando cuántos agricultores lo cultivan. Luego declaran si un cultivo o una variedad es cultivada en áreas grandes o pequeñas, esto crea las cuatro células del análisis. Una quinta celda puede ser añadida para enumerar los cultivos o variedades perdidas, esto permite identificar los cultivos o variedades que solían cultivarse en la zona, pero que por alguna razón ya no se cultivan (PAR, 2018).

c) El transecto es otra técnica muestral muy útil para investigaciones de campo. Consiste en hacer un recorrido a lo largo de una distancia definida dentro del área

de estudio para obtener una idea general del área a partir del (o de los) transecto(s) realizado(s), suele hacerse con informantes clave o personas conocedoras del entorno. Conviene hacerlo después de los primeros ejercicios de mapeo participativo a fin de validar la información recogida durante estos ejercicios previos. A través del transecto, puede ser recolectada información de la topografía y altitud del terreno; características del suelo; sistemas de manejo agrícola y los principales cultivos o variedades presentes, incluyendo especies silvestres (PAR, 2018).

2.3.2. El muestreo

Se ha señalado anteriormente la importancia del diseño de muestreo acorde a los objetivos y condiciones específicas del estudio. Algunas consideraciones importantes, además del tamaño de la muestra y la elección de los participantes, son las siguientes (según PAR, 2018): la muestra debe ser capaz de representar a la población de interés para el estudio y ser lo suficientemente grande como para tener suficiente validez estadística y poder responder a las preguntas de la investigación. Si el sitio de estudio es una región específica, las comunidades deben ser seleccionadas para asegurar una representación adecuada de las diferentes condiciones socio ambientales. En la selección de los participantes debe tenerse en cuenta la variación en la distribución de conocimientos entre los diferentes grupos de edad o grupos sociales (PAR, 2018).

Existen dos enfoques principales de muestreo: el muestreo probabilístico y el no probabilístico. El muestreo probabilístico permite obtener una muestra representativa de una población dada, mientras que el muestreo no probabilístico se utiliza en estudios más específicos, por ejemplo cuando el objetivo es documentar un fenómeno complejo en un corto tiempo (PAR, 2018).

2.3.3. Caracterizando cultivos

Recopilar información sobre los nombres locales, usos y características de los cultivos y variedades es primordial para comprender su importancia agroecológica, cultural, nutricional, económica, además de otros valores y funciones. Evaluaciones de los rasgos específicos de un cultivo puede ayudar a identificar qué características

están faltando y podrían ser (re)introducidas a través de nuevas variedades. Existe un gran interés, por ejemplo, en introducir variedades tolerantes a la sequía en zonas vulnerables al calentamiento global (PAR, 2018). Categorías comunes para usos de cultivos y sus variedades, pueden ser: alimento, forraje, material para construcción u otros usos específicos como los tintes, uso cultural en ceremonias o festividades y medicinal o terapéutico (PAR, 2018). Se reconocen también importantes usos agroecológicos, como los cultivos de cobertura, abonos verdes, plantas forrajeras y barreras vivas, entre otros usos o estrategias de manejo ecológico sustentable (Altieri, 1987).

2.3.4. Uso de plantas silvestres y aportes etnobotánicos

Las plantas silvestres siguen siendo una importante parte de la dieta humana, y tienen valores culturales, medicinales y económicos para las comunidades locales (PAR, 2018), muchas de estas especies son cultivadas en mayor o menor medida (Mariaca, 2012). El uso de las plantas silvestres se estudia utilizando la etnobotánica; una combinación de enfoques antropológicos, etnográfico, botánico y ecológico (Albuquerque, 2017). La información sobre el uso de plantas silvestres es comúnmente recogida a través de entrevistas con la población local, pero también mediante grupos de discusión o encuestas en hogares. Es importante considerar que las comunidades suelen tener terminologías específicas y categorías populares para las plantas silvestres, respaldadas estas científicamente por la etnotaxonomía (Vendruscolo et al, 2005; Scarpa, 2007).

La información obtenida suele ser organizada por especies, indicando sus usos y el número de informantes que las mencionan. El análisis básico incluye la organización de los datos en familias botánicas, géneros, y especies a las que pertenecen. Algunos datos obtenidos serían: el número total de especies útiles, el número de especies por familia, el número de especies por categoría de uso y/o las especies silvestres más utilizadas. Estos datos pueden ser analizados a profundidad para calcular índices etnobotánicos, como los informes de uso, el índice de importancia, el valor de uso o el índice de importancia cultural (PAR, 2018).

2.3.5. El género y la agrobiodiversidad

Generalmente, mujeres y hombres realizan diferentes tipos de trabajo en los sistemas de producción agrícola o pecuaria, y por consiguiente, tienen diferentes conocimientos especializados sobre los cultivos, animales, plantas silvestres y sus diversos usos y/o preparación en forma de alimentos, medicina, utensilios, artesanías u otras. Las mujeres campesinas, por ejemplo, son conocidas desde hace mucho tiempo y a nivel global, por sus conocimientos especializados sobre plantas silvestres y manejo de semillas (Shiva et al., 2000), por lo cual resulta imprescindible considerarlas al momento de diseñar estrategias de manejo y conservación de la AB. Asimismo, desde un punto de vista matemático, es necesario tener en cuenta las diferencias de género, y por lo tanto de conocimientos y experiencias, para evitar sesgos durante la investigación participativa (PAR, 2018).

CAPÍTULO 3. Sistemas agroforestales, agrobiodiversidad y estudios de caso

Este último capítulo resume algunas consideraciones sobre la importancia de los sistemas agroforestales (SAF) en relación al manejo y conservación de la biodiversidad agrícola. Siguiendo este enfoque y para ilustrar diferentes investigaciones realizadas sobre este tema, se concluye con una revisión de estudios de caso, centrados en agroecosistemas cafetaleros en México y Centroamérica.

3.1. Sistemas agroforestales como refugio de biodiversidad

Recientemente, las investigaciones sobre biodiversidad, articuladas en estudios interdisciplinarios, han empezado a considerar los agroecosistemas como espacios fundamentales para su estudio, manejo y conservación (Moguel y Toledo, 1999), así como base del desarrollo social y económico de los agricultores, quienes están estrechamente vinculados al mantenimiento de la AB (MEA, 2005). Actualmente, existe mayor interés en documentar acerca del estado actual, las amenazas, funciones y potencialidades de la biodiversidad en entornos agrícolas o productivos desde una escala paisajística, que permite observar, entre otras, las interacciones ecológicas del agroecosistema en relación a su entorno (Schroth et al, 2004).

Se hace hincapié en el grado de biodiversidad que pueden albergar los sistemas agroforestales, en comparación a agroecosistemas más homogéneos y simplificados (monocultivos) y en relación a su entorno (paisaje urbano, natural, agrícola), señalando su valor como refugio para innumerables especies animales y vegetales (Moguel y Toledo, 1999; McNeely y Schroth, 2006), aunque sin alcanzar la complejidad de los ecosistemas naturales, de los cuales suelen depender para asegurar el recambio de ciertas especies (Schroth et al, 2004). Además se adjudican a los SAF numerosas funciones y servicios ecológicos importantes, relacionados al ciclo de nutrientes, a la conservación de suelo y el agua, o inclusive a la resiliencia ecológica del propio sistema agroforestal.

Los SAF con manejo tradicional, por su alto valor socio cultural, económico y biológico, también son reconocidos como importantes refugios de biodiversidad.

Estudios en México y Centroamérica demuestran que a diferencia de los sistemas agrícolas intensivos, los SAF tradicionales suelen albergar mayores niveles de biodiversidad taxonómica y funcional (Perfecto et al., 1996; Moguel y Toledo 1999; Moreno et al., 2010; Méndez et al., 2010), evidenciando el valor socio cultural de los mismos. Por otro lado, Schroth et al (2004) señalan que los sistemas agroforestales juegan un papel importante para las estrategias de conservación de la biodiversidad tropical, al mantener por ejemplo los nichos ecológicos, en entornos agrícolas pero en cercanía a bosques o áreas naturales protegidas.

En su libro sobre agroforestería y conservación de la biodiversidad, Schroth et al, (2004) concluyen con algunas recomendaciones para contribuir a la investigación y desarrollo de los SAF como herramientas y espacios de conservación. Entre otras metas, se deben desarrollar métodos para continuar identificando y monitoreando los servicios ecológicos prestados por los agroecosistemas; profundizar en las interacciones entre los SAF, sistemas agrícolas y ecosistemas naturales; incrementar la productividad de los sistemas tradicionales pero manteniendo niveles altos de biodiversidad y finalmente, enfatizan en la importancia de utilizar métodos de investigación participativa, integrando a los diferentes actores involucrados, tanto en el desarrollo productivo como en la conservación de la BD (Schroth et al, 2004). Por su parte, McNeely y Schroth (2006) señalan la importancia de aplicar estrategias de manejo adaptables a cada sitio, que reconozcan los conocimientos y experiencias locales de la gente para enriquecer el conocimiento sobre bosques, agroforestería y (agro)biodiversidad. Asimismo, enfatizan en la necesidad de un marco legal actualizado y de generar políticas públicas que sustenten estas propuestas de investigación y desarrollo sostenible (McNeely y Schroth, 2006).

Partiendo del valor que tienen los SAF para la conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas, sumado a la gran cantidad de estudios sobre BD realizados en sistemas cafetaleros, a continuación se presenta una síntesis de diferentes resultados relacionando el tema de la agrobiodiversidad con estos sistemas agroforestales particulares, valorando, entre otros, los conocimientos etnobotánicos y los tipos de manejo tradicional.

3.2. Estudios de agrobiodiversidad en agroecosistemas cafetaleros

Se ha demostrado que la intensificación del sistema de producción de café, impulsada por un mayor acceso a los mercados y la implementación de productos agroquímicos, impacta directamente a la biodiversidad, debido a que va degradando la cobertura vegetal y reduciendo el número de especies cultivadas como silvestres (Rojas et al, 2012). Sin embargo, por la complejidad que albergan los sistemas cafetaleros tradicionales y/o de sombra, estos han sido objeto de estudios sobre la biodiversidad y un terreno fértil para la implementación de prácticas de producción orgánicas u agroecológicas.

Como lo señalan Schroth et al. (2004), los agroecosistemas cafetaleros son probablemente los sistemas agroforestales mejor estudiados en términos de su biodiversidad. A su vez, la biodiversidad presente en estos sistemas puede dividirse en la diversidad genética del cultivo en sí; la diversidad vegetal circundante, integrada por diferentes niveles de sombra y coberturas de suelo y la diversidad de fauna y microorganismos, que usan el cafetal como hábitat temporal o permanente, incluyendo insectos plaga, patógenos y sus propios controladores naturales (Schroth et al., 2004).

Los sistemas de producción cafetaleros han experimentado cambios sucesivos en su estructura y formas tradicionales de manejo, sorteando los vaivenes del mercado internacional. Bart (2007) identifica tres períodos de cambio, desde su implantación en América Latina con la introducción de árboles de sombra a finales del siglo XIX; seguido de procesos de intensificación a partir de 1950, que fueron alentados por un aumento en los precios internacionales del café (introducción de variedades híbridas, más exigentes en luz, agua y nutrientes) que implicó la eliminación de los árboles de sombra en las parcelas y un mayor uso de insumos agrícolas; para reincorporar, a inicios de los años 90, la introducción de sombra en los cafetales, el cultivo orgánico y el rescate de las prácticas tradicionales de cultivo, como parte de las estrategias ante los altibajos del precio internacional, así como para reducir el uso de agroquímicos (Zanfini 2005; Bart, 2007).

3.2.1. Estudios en México

En 1999, Moguel y Toledo, documentaban que el 90% de los caficultores mexicanos trabajaban en pequeñas explotaciones de menos de 5 ha y el 70% en menos de 2 ha. Desde ese entonces, una parte importante de la producción se reconocía como orgánica, proveniente en su mayoría de comunidades indígenas. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), señala que para el 2019, México empleó a más de 515,000 personas, de los cuales un 60% son pequeños productores (menos de 5 ha cultivadas) y el 85% se considera población indígena. La producción de café tiene presencia en 15 estados y 480 municipios del país, siendo Chiapas, Veracruz y Puebla los estados más importantes en cuanto a producción (CEDRSSA, 2019). Aunque México fue superado años atrás como productor mundial, este rubro sigue siendo de gran importancia económica para miles de pequeños productores, cuyas actividades giran en torno al café.

Basados en revisiones de literatura, Moguel y Toledo (1999) evidenciaron la riqueza biológica que albergan las plantaciones tradicionales de café bajo sombra, en grupos como árboles, plantas epífitas, aves, reptiles, anfibios y artrópodos. En base a una clasificación de los sistemas cafetaleros de México según su estructura vegetal o arbórea, estos autores demuestran el contraste que existe entre las plantaciones tradicionales y las modernas -con manejo intensivo -, al presentar las primeras estratos de vegetación más complejos y diversos (como los sistemas de policultivo tradicionales), de gran importancia económica para los pequeños productores que los manejan, por la cantidad de diferentes productos que pueden obtener de sus parcelas, además del café. Entre otras conclusiones de su investigación, subrayan que estas plantaciones bajo sombra y con manejo tradicional están localizadas en zonas de importancia biogeográfica por lo cual se vuelven cruciales para la conservación de la biodiversidad (Moguel y Toledo, 1999). Estudios etnobotánicos también señalan esta importante relación entre zonas ricas en BD taxonómica, presencia de bosques (o áreas naturales) y manejo tradicional por sociedades indígenas, aunque todavía no se conoce a profundidad cómo los factores étnicos mantienen altos niveles de BD (Moreno et al, 2010, Sistla et al, 2016).

Otros estudios evidencian que la estructura vegetal compleja de los sistemas cafetaleros bajo sombra y otros sistemas agroforestales puede ser similar a los bosques nativos, por lo que pueden albergar muchas especies (Perfecto et al., 1996; Moguel y Toledo, 1999; Schroth et al., 2004). Estudios realizados en fauna han mostrado que las fincas de café bajo sombra mantienen el hábitat para las especies especialistas del bosque (Moguel y Toledo, 1999). Asimismo, estos agroecosistemas funcionan como corredores biológicos, que facilitan el movimiento de las especies entre los diferentes remanentes forestales (Manson y Barrera, 2008). Schroth et al. (2004) aportan que los sistemas agroforestales, entre otras funciones importantes, pueden contribuir a frenar la deforestación y la presión sobre los recursos naturales del bosque; incrementan el hábitat para especies nativas en zonas cultivadas y proveen parches de vegetación dentro del paisaje agrícola, lo cual beneficia a la biodiversidad presente.

Tanto la estructura como la ubicación geográfica de las fincas de café de sombra en México hacen que este tipo de agroecosistema sea importante en la conservación de la biodiversidad. Pero además de su estudio taxonómico, otras aportaciones importantes son las evaluaciones de los servicios ecológicos que aportan, como la conectividad entre paisajes, la polinización por insectos, la conservación del suelo y su retención de agua, entre otros (incluido el mantenimiento de la BD). Es el caso del estudio de Manson y Barrera (2008), donde no se limitaron al estudio de la biodiversidad en los sistemas cafetaleros, sino que a través de un enfoque multidisciplinario y con metodologías de investigación participativa, indagaron acerca de los diferentes servicios ecológicos, las prácticas de manejo y el contexto socio económico en el cual se enmarca la producción de café en el estado de Veracruz.

3.2.2. Estudios en Centroamérica

El café ha sido, desde mediados del siglo XIX, el producto clásico de exportación en Centroamérica, actualmente sigue siendo importante entre las exportaciones agrícolas de la región, a pesar de los efectos negativos de la roya (*Hemileia vastatrix*) y de la fuerte oscilación del precio internacional. Es también un importante

generador de empleos temporales, que implica procesos migratorios dentro de C.A. y hacia países vecinos (nicaragüenses hacia Costa Rica, indígenas panameños hacia Costa Rica y guatemaltecos hacia México, entre otros). Además, el sistema productivo cafetalero, siendo generalmente sistemas agroforestales, es considerado clave en la adaptación al cambio climático, por mantener extensas áreas de bosque y albergar altos niveles de biodiversidad, entre otros factores benéficos (Méndez et al., 2007; Baumeister, 2013).

En el caso de Nicaragua, el histórico “boom” cafetalero a finales del siglo XIX fue posible por procesos de expropiación de tierras comunales, su concentración en grandes latifundios y la consecuente mano de obra indígena “desocupada” que sería incorporada a la producción del entonces llamado “grano de oro”. Este fenómeno ocurrió principalmente en las zonas norte del país, con condiciones edáficas y climáticas favorables a su desarrollo (Rocha, 2001). El desplome de los precios del café en el mercado internacional, sumado a cierto estancamiento en la productividad, provocaron una crisis sin precedente en el sector cafetalero de Centroamérica, con repercusiones en el ámbito social y económico (Flores et al., 2002).

Méndez et al. (2010) hicieron una revisión exhaustiva de diez años de investigaciones en torno a la agrobiodiversidad en plantaciones de café en Nicaragua y El Salvador, el estudio se complementó con ensayos de campo para registrar la presencia de especies de árboles, epífitas, cultivos y plantas silvestres asociadas al cafetal. Para examinar a la AB en su conjunto, estos autores proponen emplear los hogares como unidades de análisis, en lugar de las parcelas o plantación, integrando el componente social y económico al estudio de la agrobiodiversidad. También señalan el interés creciente en analizar la AB desde una escala de paisaje, enfocándose, entre otros temas de interés actual, a los servicios ecosistémicos que esta aporta (Méndez et al., 2010).

De manera general, resultaron altos niveles de AB manejada, tanto dentro como fuera de los cafetales (huertos, traspatios), así como diferencias significativas entre

las plantaciones de productores particulares y plantaciones más extensas, pertenecientes a cooperativas cafetaleras (Méndez et al. 2010). En base a esta comparación, los resultados indican que los productores individuales mantienen niveles significativamente mayores de riqueza y abundancia de árboles, en comparación a las plantaciones organizadas en cooperativas. Asimismo, se evidenció que los productores individuales obtienen una mayor diversidad de productos de la agrobiodiversidad que las cooperativas, ya sea para el auto consumo, para el mercado o ambas, concluyendo que la AB manejada por los pequeños productores cafetaleros contribuye al sustento de los hogares a través de estos productos generados (Méndez et al., 2010).

Se encontró que el grupo taxonómico más representativo fueron los árboles, incluyendo frutales, maderables y para sombra específicamente (*Inga sp.*), que también proveen de importantes productos al hogar como la leña. La diversidad de cultivos agrícolas fue similar en ambos países pero con diferencias en las especies y en el número de variedades. Como ejemplo, el número de variedades de café y maíz fue considerablemente mayor en Nicaragua que en El Salvador. En cambio, los productores salvadoreños siembran una gran cantidad de vegetales, tanto en parcelas cafetaleras como en huertos y traspatios, destinados principalmente a la venta. También se reportaron diferentes especies con usos alimenticios y medicinales, se encontró que los cultivos agrícolas son generalmente para el auto consumo y la venta, mientras que las plantas medicinales se utilizan exclusivamente para remedios caseros (Méndez et al., 2010). Estos autores concluyen que es necesario comprender mejor cómo la seguridad alimentaria, la conservación a escala de paisaje y el cambio climático afectarán al potencial de conservación de la agrobiodiversidad de parte de los pequeños productores de café de sombra en el futuro.

Volviendo al tema de los SAF en relación con la biodiversidad, Sistla et al (2016) compararon los efectos de tres tipos de uso de suelo (agroforestal, pastura y bosque secundario) en la diversidad vegetal y en ciertas propiedades edáficas. También se estimaron los recursos naturales potenciales, obtenidos por la biodiversidad vegetal en cada tipo de uso de suelo, distinguiendo cuatro categorías; comida, medicina,

leña y otros (refiriéndose a recursos naturales). El estudio se realizó en la cuenca de la Laguna de Perlas, en la región Atlántico-sur de Nicaragua, ubicada dentro del “hotspot”¹⁴ de biodiversidad mesoamericana, zona históricamente caracterizada por una matriz de sistemas agroforestales y de bosque secundario no manejado, amenazado por una rápida expansión de la frontera agrícola (Schmitt y Kramer, 2010; Sistla et al., 2016).

Estos autores plantean la importancia de los sistemas agroforestales tradicionales como estrategia sostenible de uso de suelo en regiones tropicales, donde los cambios de uso se aceleran. Es importante para ello, señalan, integrar la agricultura sostenible y la conservación de la BD desde las pequeñas fincas y generalmente más diversificadas, tipificadas como de manejo tradicional (Sistla et al., 2016). También ensalzan el uso y manejo de árboles perennes dentro del agroecosistema como componente esencial de la conservación de la biodiversidad y resiliencia socio ecológica. Integrando variables ecológicas y sociales, Sistla y colaboradores pudieron evaluar de manera más completa los impactos del tipo de uso de suelo en los ecosistemas terrestres en estudio. Enfatizan que un enfoque integral como este, puede servir de base para evaluaciones posteriores, orientadas a estudiar los *trade-offs*¹⁵ relacionados a diferentes estrategias y tipos de uso de suelo.

El estudio concluye aseverando que desarrollar sistemas agroforestales contiguo a bosques secundarios y zonas de reserva es una estrategia viable para promover la conservación de la biodiversidad y la estabilidad socio ecológica de las comunidades. Mejorar el entendimiento sobre los servicios socioecológicos de los agroecosistemas tradicionales ayudaría a impulsar políticas que sustenten un rango más amplio de objetivos relacionados a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad. Los autores recomiendan que para evidenciar la complejidad de estos servicios ecosistémicos, el estudio de la BD no debe limitarse a la riqueza taxonómica, sino incluir la diversidad funcional y filogenética, como es el caso del presente estudio (Sistla et al., 2016).

14 **Hotspot:** o “punto caliente” de biodiversidad es un área territorial con una concentración especial de biodiversidad y/o altos niveles de endemismo de especies (Myers, 1988).

15 En ecología y economía se le llama **trade-off** a perder una cualidad o cualquier aspecto de energía, materia o recursos en pos de ganar otra cualidad u otro aspecto del mismo tipo.

4. CONCLUSIONES

La degradación acelerada de la biodiversidad por efectos de la agricultura moderna es como la imagen de quien serrucha la rama en la cual está sentado; y es que no solo la agricultura depende de la biodiversidad, sino la gran mayoría de las actividades productivas y la economía misma. Es por ello necesario repensar los paradigmas del desarrollo moderno, la economía debería basarse en primicias ecológicas y no al revés.

El tema de la biodiversidad ha cobrado gran importancia, sobretodo en aquellos países denominados “megadiversos”, como es el caso de México, Perú o Colombia, situados en un continente donde la extracción de recursos y degradación ambiental está alcanzando límites nunca antes vistos. Se considera que esta región, rica en recursos naturales y biodiversidad, es de las más vulnerables ante el cambio climático, al avance de la frontera agrícola y la deforestación consecuente. Aunque un informe de la FAO del 2011 sobre la situación de los bosques reveló un decrecimiento en las tasas de deforestación en América y el Caribe, la tendencia global es hacia una mayor degradación de los ecosistemas naturales y la biodiversidad incluida.

Conceptualizar y estudiar la biodiversidad agrícola ha servido para revalorizar los entornos agrícolas como refugios importantes de biodiversidad, pero también, - desde una perspectiva sistémica-, como prestadores de múltiples funciones y servicios ecológicos, de los cuales podríamos continuar beneficiando, siempre y cuando estos entornos sean gestionados de manera sustentable y armoniosa con el medio ambiente. De ahí, la importancia de implementar estrategias de producción (agropecuarias, silvícolas, pesqueras, entre otras) sostenibles, orientadas hacia una mayor resiliencia ecológica de los agroecosistemas.

Desde la comunidad científica, se han venido adoptando distintos métodos para evaluar la biodiversidad; desde índices estadísticos, provenientes de las ciencias informáticas (Shannon-Wiener, 1948), hasta propuestas multidisciplinarias y de investigación participativa, que involucran durante el proceso a los agricultores

mismos, en el caso de la biodiversidad agrícola (PAR, 2018). El último capítulo refiere a los sistemas agroforestales y su importancia para el estudio y conservación de la biodiversidad en paisajes tropicales. Los estudios de caso presentados son específicos para sistemas cafetaleros, donde se rescatan el manejo tradicional, la agrobiodiversidad presente (domesticada y silvestre) y las prácticas agroecológicas, como factores importantes de sostenibilidad ecológica, social y productiva.

El estudio de la agrobiodiversidad es tan amplio que puede abordarse desde diferentes disciplinas; antropología, etnología, economía y ecología, entre otras. Se ha trascendido su enfoque estrictamente biológico, para incorporar aspectos socio culturales, económicos e inclusive conocimientos empíricos, volviendo más complejo el debate en torno a su mantenimiento y conservación. Considero que es necesario adaptar estos métodos de evaluación a las condiciones y requerimientos locales de cada sitio, aunque también es importante apegarse a cierta estandarización metodológica, para poder luego comparar y contribuir al estudio y monitoreo de la agrobiodiversidad a escala global. Espero que este trabajo, enfocado al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad agrícola, sirva de apoyo para futuros trabajos e investigaciones sobre el tema.

5. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Albuquerque, U., Ramos, M., Júnior, W. y De Medeiros, P. (2017). *Ethnobotany for beginners*. Springer International Publishing.
- Altieri, M. A. (1987). *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. Westview Press.
- Arroyo V., Arasa R., Arce N., et al. (2019). Determinantes de la biodiversidad en paisajes antrópicos: Una revisión teórica. En: Moreno CE (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 65-112.
- Arrhenius, O. (1921). Species and area. *Journal of Ecology*, 9(1), 95-99.
- Bart, F. (2007). Café des montagnes, café des plaines. *Études rurales*, (180), 35-48. Consultado en marzo 2021 y disponible en <https://journals.openedition.org/etudesrurales/8505>
- Baumeister, E. (2013). *Transición cafetalera en América Central*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Bender, E., Case, T., & Gilpin, M. (1984). Perturbation experiments in community ecology: theory and practice. *Ecology*, 65(1), 1-13.
- Bioversity International (2017). *Towards an Agrobiodiversity Index for sustainable food systems*. Remans, R., Attwood, S., Bailey, A., & Weise, S. F. (Editores).
- Cáceres, D. (2006). Agrobiodiversity and technology in resource-poor farms. *Interciencia*, 31(6), 403-410.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2019). Comercio internacional del café, el caso de México. Ciudad de México. Consultado en febrero-marzo 2021 y disponible en http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-comercio_internacional_del_cafn-n-el_caso_de_mn-xico.htm

Chao, A., & Lee, S. M. (1992). Estimating the number of classes via sample coverage. *Journal of the American statistical Association*, 87(417), 210-217.

Colwell, R., & Coddington, J. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 345(1311), 101-118.

Cultid-Medina C, Escobar F (2019). Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica (qD). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/ Libermex, Ciudad de México, pp. 175-202.

Daily, G. C. (2013). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* (1997) (pp. 454-464). Yale University Press.

Ewers, R., Díaz, S., Purvis, A., et al. (2013). Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and evolution*, 3(9), 2958-2975.

Fahrig, L., & Merriam, G. (1994). Conservation of fragmented populations. *Conservation biology*, 8(1), 50-59.

Fahrig, L., Baudry, J., et al. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology letters*, 14(2), 101-112.

- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 34(1), 487-515.
- Food and Agriculture Organization, FAO (1999). *Agricultural Biodiversity, Multifunctional Character of Agriculture and Land Conference, Background Paper 1*. Maastricht, Netherlands.
- FAO (2017). *The state of food and agriculture. Leveraging food systems for inclusive rural transformation*. Consultado en junio y julio 2020, disponible en [http://uni-sz.bg/truni11/wp-content/uploads/biblioteka/file/TUNI10042440\(1\).pdf](http://uni-sz.bg/truni11/wp-content/uploads/biblioteka/file/TUNI10042440(1).pdf)
- FAO (2020). *Alimentación y agricultura sostenibles*. Artículo publicado en mayo 2020. Consultado en mayo 2021 y disponible en <http://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/>
- Flores, M., Bratescu, A., Martínez, J., Oviedo, J., y Acosta, A. (2002). *Centroamérica: El impacto de la caída de los precios del café*. Repositorio CEPAL, Estudios y Perspectivas, México (No. 9). Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5016>
- Gould, W. (2000). Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecological applications*, 10(6), 1861-1870.
- Harris, S., Trehwella, W., & McAllister, F. (1988). Dispersal distance, home-range size and population density in the red fox (*Vulpes vulpes*): a quantitative analysis. *Journal of Applied Ecology*, 423-434.
- Iermanó, M. J., Sarandón S., et al. (2015). Evaluación de la agrobiodiversidad funcional como indicador del “potencial de regulación biótica” en agroecosistemas del sudeste bonaerense. *Fac. Agron. Vol 114 (Núm. Esp. 1): 1-14*.

- Jackson, L., Bawa, K., Pascual, U., & Perrings, C. (2005). Agrobiodiversity: a new science agenda for biodiversity in support of sustainable agroecosystems. *Diversitas*, 4, 40.
- Jackson, L. E., Pascual, U., & Hodgkin, T. (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(3), 196-210.
- Jaeger, J. A. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology*, 15(2), 115-130.
- Jiménez-Valverde, A. (2000). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar los inventarios biológicos. *Iber Aracnol*, 8, 151-161.
- Gemmill, B. (s.f). Manejo de Recursos Agrícolas. para conservar la Biodiversidad. Guía de Mejores Prácticas para una Integración Sectorial, p. 70
- Gliessman, S. R. (2001). Agroecología: procesos ecológicos em agricultura sustentável. Ed. da Univ. Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Brasil.
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and society*, 17(4).
- Laurance, W., Ewers R., Ribeiro, J. et al. (2007). Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis. *PLoS one*, 2(10), e1017.
- Laurance, W. (2008). Theory meets reality: how habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological conservation*, 141(7), 1731-1744.

- Levin, S. (1992). The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 73(6), 1943-1967.
- Leyva, A. y Lores, A. (2012). Nuevos índices para evaluar la agrobiodiversidad. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, INCA. *Agroecología* 7: 109-115. La Habana, Cuba.
- Love, B., & Spaner, D. (2007). Agrobiodiversity: Its Value, Measurement, and Conservation in the Context of Sustainable Agriculture, *Journal of Sustainable Agriculture*, 31:2, 53-82
- MacArthur, R. (1965). Patterns of species diversity. *Biological reviews*, 40(4), 510-533.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwells. Oxford, Reino Unido.
- Manson, R., Contreras, A., y López-Barrera, F. (2008). Estudios de la biodiversidad en cafetales. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología, AC (INECOL), Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Cd. Mx., México, 1-14.
- Martella M., Trumper E. et al (2012). *Manual de Ecología. Evaluación de la biodiversidad*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Reduca (Biología). Serie Ecología. 5 (1): 71-115 .
- Martínez M. y Zuria I. (2019) *Herramientas de análisis espacial para estudios de biodiversidad. La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Libermex, Ciudad de México, pp. 21-38.

- Millennium Ecosystem Assessment, MEA (2005). Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, EE.UU. Disponible en <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Méndez, V., Bacon, C., Olson, M., et al. (2010). Agrobiodiversity and shade coffee smallholder livelihoods: a review and synthesis of ten years of research in Central America. *The Professional Geographer*, 62(3), 357-376.
- Moguel & Toledo (1999). Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, Feb., 1999, Vol. 13, No. 1 (Feb., 1999), pp. 11-21.
- Montojo, N. (2020). Incumplidos todos los objetivos de biodiversidad de la década. *El Ágora*. Consultado en marzo 2021 y disponible en <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/biodiversidad/incumplidos-todos-los-objetivos-de-biodiversidad-de-la-decada/>
- Moreno, C. (2000). Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1. Manuales y tesis. Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), España.
- Moreno C. editora (2019). La biodiversidad en un mundo cambiante: fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Moreno, A., & Casas, A. (2010). Agroforestry systems: restoration of semiarid zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological restoration*, 28(3), 361-368. Disponible en <http://er.uwpress.org/content/28/3/361.short>
- Mota, C., Encarnación A., Rojas O., et al. (2019). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 39-63.

- Newing, H. (2011). *Conducting Research in Conservation: Social Science Methods and Practice*. Routledge, Abingdon, Reino Unido.
- Naeem, S., Bunker, D. E., Hector, A., Loreau, M., & Perrings, C. (Eds.). (2009). *Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective*. Oxford University Press.
- Nieto, G. (2017). *Agrobiodiversidad y servicios ecosistémicos: una revisión de los componentes y prácticas de manejo*. Tesis de maestría. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Perrings, C., Naeem, S., Ahrestani, F., *et al.* (2011). Ecosystem services, targets, and indicators for the conservation and sustainable use of biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(9), 512-520.
- Perfecto, I., Rice, R., Greenberg, R., & Van der Voort, M. (1996). Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598-608.
- Pesticide Action Network North America, P. A. N. N. (2009). *La agroecología aporta un conjunto de soluciones para las crisis y presiones ambientales que enfrenta la agricultura en el siglo. Agroecología y Desarrollo Sostenible, Conclusiones de la Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo*, dirigida por la ONU.
- Pfeifer, M., Lefebvre, V., Ewers, R. *et al.* (2017). Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. *Nature*, 551(7679), 187-191.
- Pineda, R. (2019). *Estimadores de la riqueza de especies. La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 159-174.

Platform for Agrobiodiversity Research, PAR (2018). Assessing agrobiodiversity: A compendium of methods. Roma, Italia. Consultado en junio 2020 y disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/340061632_Assessing_Agrobiodiversity_A_Compendium_of_Methods

Richard, J., Cervone, S., Castaneda, *et al.* (2004). Development of a GIS for global biocultural diversity. *Policy Matters*, 13(6).

Rito, K., Arroyo, V., Tabarelli, M. *et al.* (2017). Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. *Journal of Ecology*, 105(3), 828-838.

Rocha, J. L. (2001). Crónica del café: historia, responsables, interrogantes. *Revista Envío* (No. 233). Universidad Centroamericana, UCA. Managua, Nicaragua. Consultado en marzo 2021 y disponible en: <https://www.envio.org.ni/articulo/1096>

Sánchez, Á., Ulloa, K., y Márquez, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 93-104.

Sanahuja, J. A. (2015). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: hacia una ética universalista del desarrollo global. *Razón y fe*, 272(1405), 367-381.

Sarandón S. (2010). Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: análisis del convenio sobre diversidad biológica. *Vertientes del Pensamiento Agroecológico. Fundamentos y aplicaciones*. Revisión por Sicard T. y Altieri M. Bogotá, Colombia. 105-129.

- Scarpa, G. (2007). Hacia una etnotaxonomía vegetal Chorote I: fitonimia, sistema nomenclatural y comparación dialectal; Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Centro de Estudios Antropológicos; Suplemento Antropológico; 42; 1; 81-119. Argentina.
- Schroth, G., Harvey, C. et al. (2004). Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, 2008). La Biodiversidad y la Agricultura: Salvaguardando la biodiversidad y asegurando alimentación para el mundo. Montreal, 56 páginas.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell system technical journal, 27(3), 379-423.
- Shiva, V., Jafri, A., Emani, A., & Pande, M. (2000). Seeds of suicide: the ecological and human costs of globalisation of agriculture. Consultado en diciembre 2020 y disponible en <https://jeffreydachmd.com/wp-content/uploads/2013/06/Seeds-of-Suicide-Human-Costs-of-Seed-Monopolies-and-Globalisation-of-Agriculture-Vandana-Shiva-2006.pdf>
- Singh, S. (1998). Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. Environmental conservation, 25(1), 1-2.
- Simpson, E. (1949). Measurement of diversity. Nature, 163(4148), 688-688.
- Sistla, S., Roddy, B., Williams, N., et al (2016). Agroforestry practices promote biodiversity and natural resource diversity in Atlantic Nicaragua. PloS one, 11(9).
- Soberón, J., Llorente, J., et al. (2000). Bases de datos y sistemas de información: aplicaciones en biogeografía. Rev. Acad. Colomb. Cienc, 24(92), 325-341.

- Tilman, D., May, R., Lehman, C., & Nowak, M. (1994). Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371(6492), 65-66.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J., et al. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biological reviews*, 87(3), 661-685.
- Turner, M., Gardner, et al. (2001). *Landscape ecology in theory and practice* (Vol. 401). Springer Nueva York, EE.UU.
- UNEP/CBD (1994). *Convention on Biological Diversity. Text and Annexes. The Interim Secretariat For the Convenion on Biological Diversity, Geneva, Switzerland: 34 pp.*
- UNEP/CDB/COP/5 (2000). *The Biodiversity Agenda. Decisiones adoptadas por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su quinta reunión. Apéndice. Nairobi, 15-26 de mayo 2000.*
- Vara Sánchez, I., Cuéllar Padilla, M. (2013). Biodiversidad cultivada: una cuestión de coevolución y transdisciplinariedad. *Revista Ecosistemas*. 22(1):5-9.
- Vendruscolo, G., Soares, E., Eisinger, S., & Zachia, R. (2005). Estudo etnobotânico do uso dos recursos vegetais em São João do Polêsine-RS, no período de outubro de 1999 a junho de 2001. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 7(2), 44-72.
- Wiens, J. A. (1976). Population responses to patchy environments. *Annual review of ecology and systematics*, 7(1), 81-120.
- Wiener, N. (2019). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT press.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2-3), 213-251.

Yanes, J. (2020). Fin de la Década de la Biodiversidad de la ONU: ¿qué se ha conseguido? *Open Mind*. BBVA. Disponible en <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/biociencias/fin-la-decada-la-biodiversidad-la-onu-se-ha-conseguido/>

Zimmerer, K., de Haan, S., Jones, A., et al. (2019). The biodiversity of food and agriculture (Agrobiodiversity) in the anthropocene: Research advances and conceptual framework. *Anthropocene*, 25, 100192.