

Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Agropecuarias



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: Evaluación de la agrobiodiversidad y los servicios ecosistémicos
en la finca El Desquite

Autor: Jorge Carlos López Chouza

Tutora: Wendy M. Ramírez Suárez. MSc.

Matanzas

2018

Pensamiento

*“El hombre es el mismo en todas partes,
y aparece y crece de la misma manera,
y hace y piensa las mismas cosas,
sin más diferencia
que la tierra en que vive”.*

José Martí

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que yo, Jorge Carlos López Chouza, soy el único autor de este Trabajo de Diploma por lo que autorizo a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Matanzas a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

Dedicatoria

Dedicatoria:

A mi mamá por cubrir todas mis malcriadeces y estar siempre para mi, sin importar el lugar fecha u hora; por enseñarme todos los valores y principios para ser una persona de bien.

A mi papá por poner mano dura cuando más lo necesitaba y por ser más que mi papá mi amigo

A mis hermanos, en especial a Carlitos por motivarme a optar por esta carrera y estar siempre pendiente de mi.

A mi novia por estar siempre a mi lado y apoyarme.

A la memoria de mis abuelos.

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

A la Revolución que ha hecho posible mi formación académica.

A todos los profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Matanzas, que durante 5 años contribuyeron a mi formación profesional.

A mi tutora y amiga Wendy Ramírez Suárez, por su orientación, y constante preocupación durante la ejecución, organización y elaboración de la investigación.

A todos mis amigos por su apoyo permanente

Resumen

Resumen

Con el objetivo de Evaluar la agrobiodiversidad y su relación con los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite, se realizó un estudio en esta entidad productiva, ubicada en el municipio de Los Arabos, provincia de Matanzas; la cual posee un área de 52,87 ha destinadas a la producción de caña, frutales, cultivos varios entre otros. Se caracterizó la finca a través de los datos obtenidos a partir de una encuesta socioproductiva, se cuantificó el número de individuos por especie y se calcularon los índices de biodiversidad Shannon (1,48), Simpson (0,22), Margalef (7,72) y Pielou (0,31). Además, se identificaron los principales servicios ecosistémicos y su relación con la agrobiodiversidad presente. La caracterización socioproductiva de la finca, evidencia la diversificación presente en el agroecosistema, así como las prácticas de manejo agroecológico que en él se desarrollan. Por su parte la determinación de los índices de biodiversidad demuestra que el agroecosistema evaluado presenta una alta riqueza de especies, con una baja uniformidad en su distribución dado por la dominancia de los individuos del cultivo de la caña principalmente. La provisión de los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite, depende de la agrobiodiversidad multifuncional y las prácticas de manejo agroecológico que se gestionan en esta entidad productiva.

Índice de contenido

Introducción	1
Capítulo I Revisión bibliográfica	5
1.1 El papel de la biodiversidad en los agroecosistemas	5
1.2 Biodiversidad y servicios ecosistémicos.....	10
1.3 Métricas de la biodiversidad agrícola	16
1.4 La agroecología como base de una agricultura sostenible	17
1.5 Biodiversidad y eficiencia.....	22
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1 Localización de la finca en estudio.....	25
2.2 Clima.....	26
2.3 Suelos	26
2.4 Procedimiento experimental.....	27
Capítulo III. Resultados y discusión	31
3.1 Caracterización de la finca El Desquite	31
3.2 Análisis de la biodiversidad	35
3.2.1 Índices de biodiversidad.....	37
3.2.2 Prácticas de manejo que contribuyen al aumento de la biodiversidad.....	39
3.2.3 Determinación del índice de utilización de la tierra (IUT).....	40
3.3 Relaciones entre la agrobiodiversidad y servicios ecosistémicos	43
3.3.1 Identificación de los servicios ecosistémicos presentes en la finca El Desquite.....	43
3.3.2 Contribución de las prácticas de manejo agroecológico a los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite	49
Conclusiones	52
Recomendaciones	53
Bibliografía	54
Anexos.....	67
Anexo 1. Encuesta socioproductiva	67

Introducción

Introducción

La intensificación de las actividades humanas a nivel mundial, ha provocado en los últimos años la pérdida de la capacidad de los ecosistemas de producir bienes y servicios capaces de satisfacer las necesidades de la población; es por ello que durante las últimas décadas, se han desarrollado varias investigaciones relacionadas con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (SE) pero aún son insuficientes debido a la heterogeneidad de los agroecosistemas.

La biodiversidad es considerada uno de los factores clave de los agroecosistemas (Altieri 2009); sin embargo la intensificación agrícola ha provocado su pérdida continua (Tsiafouli *et al.*, 2015). Es por ello que la prioridad del Panel Intergubernamental por la biodiversidad y los servicios ecosistémicos es la evaluación del efecto de los disturbios antropogénicos sobre la biodiversidad y los SE y la relación entre ellos según Birkhofer *et al.* (2018).

Específicamente el término agrobiodiversidad, incluye todos los componentes de la diversidad biológica referidos a la alimentación, la agricultura y el ecosistema agrícola, así como un fuerte componente sociocultural, sobre la base de que la diversidad biológica agrícola está en gran parte determinada por actividades humanas, saberes de los productores y prácticas de manejo (Sarandón, 2009; Stupino *et al.*, 2014).

Aunque las funciones de la biodiversidad no están completamente comprendidas (Andrén y Balandreaub 1999), se acepta que la funcionalidad de las especies en el contexto del agroecosistema es más importante que la diversidad per se. En este sentido Duncan *et al.* (2015), plantean que son decisivos los estudios que abordan las relaciones entre la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos debido a que los estudios realizados, demuestran el rol determinante de la biodiversidad en la estabilidad y productividad de los sistemas naturales y explotados (Swift *et al.* 2004) así como su aporte en la resiliencia de los agroecosistemas.

En este sentido Altieri y Nicholls (2007) resaltan que los sistemas agrarios diversificados desarrollan propiedades ecológicas que aumentan su capacidad de autorregulación y las posibilidades de mantener el equilibrio, por las múltiples

relaciones entre sus componentes bióticos y abióticos. Además la diversificación, tanto de especies como de prácticas, contribuyen a aumentar la estabilidad de los ingresos de los productores debido a la eficiencia que se logra en el uso de los recursos (Altieri y Nicholls, 2012).

Existen varias razones por las que se tiene interés en la biodiversidad y su medición. El papel principal de la biodiversidad es facilitar el funcionamiento y desarrollo de los procesos ecosistémicos, que posteriormente, serán la base de producción de SE (MEA 2005, Polania *et al.* 2011). La pérdida de la biodiversidad afecta directamente la capacidad de los ecosistemas de proveer SE (Harvey *et al.* 2006).

Los paisajes moderadamente intensificados pueden proporcionar un conjunto de servicios más equilibrado. Mientras que los rendimientos son típicamente más modestos, otros servicios como la retención de suelos, la infiltración de agua y las oportunidades recreativas pueden ser relativamente altos. El objetivo de dichos paisajes puede ser aumentar su multifuncionalidad general. En paisajes menos intensificados, los rendimientos de la agricultura pueden ser comparativamente bajos pero equilibrados por un aumento de los servicios de apoyo, regulatorios y culturales. El objetivo de estos paisajes puede ser aumentar los servicios de suministro mientras se mantienen los niveles actuales de otros servicios (Landis, 2017)

Cipullo (2016) asevera que algunos aspectos de la biodiversidad se valoran directamente; mientras que otros son valorados por sus contribuciones al apoyo del ecosistema y, por lo tanto, a la producción sostenible de cosas que se valoran directamente. Por su parte Admiraal *et al.* (2013) afirman que el valor de la biodiversidad radica en la importancia que tienen la riqueza y variedad de especies en la complejidad de los ecosistemas y su rol en el mantenimiento de servicios ecosistémicos a través del tiempo y en diferentes escalas.

Los estudios de los agroecosistemas deben basarse en la explicación de los vínculos existentes entre la biodiversidad y los servicios del ecosistema (Duncan *et al.*, 2015) y la resiliencia de los sistemas ante una perturbación (Oliver *et al.*, 2015).

La agroecología plantea que para el diseño de una agricultura resiliente es necesario reincorporar agrobiodiversidad (mezclas de variedades, policultivos, agroforestería, integración animal, etc.) en las parcelas agrícolas, junto a prácticas de conservación y cosecha de agua, pero además restaurando los paisajes circundantes. A nivel de paisaje la diversificación de la matriz debe ir acompañada de una serie de actividades complementarias para alcanzar los objetivos de la resiliencia socio-ecológica (Nicholls y Altieri, 2017).

Para lograr sistemas agropecuarios sostenibles según Nova (2016) es necesario determinar el potencial el estudio de sistemas biodiversos. En Cuba el empleo de agroecosistemas diversificados, integrados, sustentables y manejados con recursos locales, con fuentes alternativas de energía y un mínimo uso de insumos (Funes, 2016) en fincas agropecuarias, se ha convertido en una prioridad en la agricultura cubana.

El diseño agroecológico se orienta en integrar diversos componentes que tienden a aumentar la eficiencia biológica, preservar la biodiversidad y mantener la capacidad productiva y de autorregulación de los agroecosistemas (Altieri y Toledo, 2011)

Lo ideal es equilibrar la producción de alimentos, los SE y la biodiversidad en los sistemas de cultivo, se requiere de un cambio que promueva la multifuncionalidad a escala de paisaje (Holt *et al.*, 2016). Por lo que es necesario reconocer que los retos socioeconómicos y ambientales contemporáneos conllevan a pensar en nuevos enfoques de investigación con un carácter integral que evidencie la importancia de los servicios ecosistémicos generados por la biodiversidad en el contexto agropecuario cubano.

Por lo antes expuesto el problema científico de la presente investigación es: ¿Cuál es la relación entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite?

Hipótesis: La evaluación de la biodiversidad y su relación con los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite permitirá analizar las interacciones agroecológicas presentes y su contribución a la eficiencia productiva.

Objetivo general:

- Evaluar la agrobiodiversidad y su relación con los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la finca El Desquite del municipio Los Arabos.
- Determinar la relación entre la biodiversidad y servicios ecosistémicos en la finca El Desquite

Capítulo I

Revisión bibliográfica

Capítulo I Revisión bibliográfica

1.1 El papel de la biodiversidad en los agroecosistemas

A partir de un análisis de datos de la FAO sobre biodiversidad agrícola, Khoury *et al.* (2014) evidenciaron cómo la producción mundial de cultivos se ha vuelto menos diversa en los últimos 50 años, en el sentido de que se ha vuelto más dominada por un pequeño número de cultivos.

Es común observar lotes sembrados con una o pocas especies que, usualmente, son genéticamente homogéneas y grandes superficies en el paisaje rural destinadas a la producción de unos pocos cultivos y con pocas áreas no cultivadas (Sarandón, 2002). Tal es el caso de los sistemas agrícolas destinados a la producción de caña en Cuba.

Para una mejor comprensión de la problemática abordada es necesario definir los términos biodiversidad, agroecosistema entre otros.

Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la diversidad biológica es la variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas. El valor clave de la biodiversidad radica en su papel para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios a los seres humanos y otros organismos vivos que los componen. Por esta razón, mantener un grado suficiente de biodiversidad es la clave para la prestación continua de servicios ecosistémicos esenciales y la necesidad de garantizar la conservación de la diversidad biológica es ahora ampliamente aceptada (Cipullo, 2016).

Teniendo en cuenta que la biodiversidad tiene varios componentes que se expresan a diferentes escalas, su medición debe abordarse de manera jerárquica, por ser intrínsecamente un tema multidimensional, que abarca genes y especies, formas funcionales, adaptaciones, hábitats y ecosistemas, así como también la variabilidad dentro de ellos y entre ellos (Pant *et al.*, 2015). Todas estas dimensiones de la biodiversidad están estrechamente interconectadas, afectando el estado, la estabilidad y la productividad del ecosistema, así como

los servicios ecosistémicos (Schneiders *et al.*, 2012), lo que hace que la biodiversidad no solo sea un problema ecológico, sino también social y económico (figura 1).

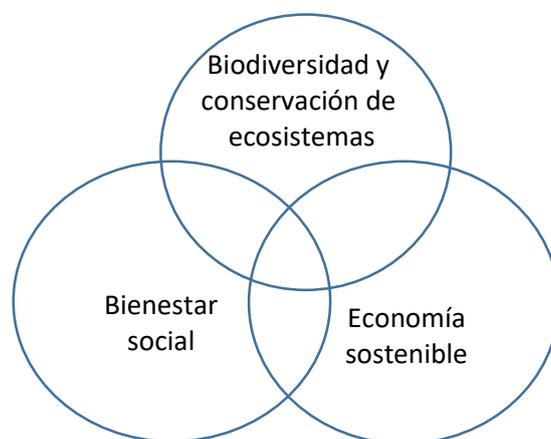


Fig. 1. El concepto de gestión basada en el ecosistema abarca lo ecológico, aspectos económicos y sociales de las cuestiones ambientales, apuntando al desarrollo sostenible reconociendo su interacción. (Tomado de Pant *et al.*, 2015).

Por otra parte el concepto de ecosistema, es definido por Odum (1996) como sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivientes y su ambiente, delimitado por fronteras definidas arbitrariamente, en un tiempo y espacio que parece mantener un estado estable de equilibrio, pero a la vez dinámico.

La definición del agroecosistema ha variado en el tiempo y en función de distintos autores. Altieri (1999) afirma que existen muchas maneras de conceptualizar un agroecosistema y que también resulta difícil delinear sus límites exactos. En efecto, los agroecosistemas no terminan en los límites del campo de cultivo o de la finca puesto que ellos influyen en y son influenciados por factores de tipo cultural. Sin embargo, el límite cultural (social, económico, político o tecnológico) de un agroecosistema es difuso, puesto que está mediado por intereses de distinta índole y procesos decisionales intangibles que provienen tanto del ámbito del agricultor como de otros actores individuales e institucionales (León, 2014).

Por su parte, los agroecosistemas se consideran como una unidad espacial y funcionalmente consistente de sistemas agrícolas y naturales manejados por

seres humanos para producir bienes y servicios, incluyendo componentes vivos y no vivos involucrados en esa unidad, así como sus interacciones (Gliessman, 2005; Krishna, 2014). Sin embargo los agroecosistemas están, en su mayoría, caracterizados por la homogeneidad de especies y de prácticas de manejo, que limitan procesos claves para el funcionamiento de la agrobiodiversidad.

Uno de los debates más significativos actualmente es sobre la evaluación de los niveles adecuados de agrobiodiversidad necesarios para que las funciones ecológicas tengan lugar, por lo que es necesario aprender a “mirar” la agrobiodiversidad para, a través de la misma, determinar cuáles son las prácticas de manejo que permiten recuperar y/o potenciar los servicios ecológicos que esta brinda (Stupino *et al.*, 2014).

En los sistemas agrícolas, la biodiversidad realiza servicios que van más allá de la producción. Como ejemplos se incluyen el control del microclima local, la regulación de los procesos hidrológicos locales, la regulación de la abundancia de organismos indeseables y la destoxificación de productos químicos nocivos. Estos procesos renovables y servicios al ecosistema son principalmente biológicos; por lo tanto, su persistencia depende del mantenimiento de la diversidad biológica. Cuando desaparecen estos servicios naturales debido a la simplificación biológica, los costos económicos y medioambientales pueden ser bastante significativos. Los costos agrícolas derivan de la necesidad de subsidiar cultivos con costosos recursos externos puesto que los agroecosistemas, privados de los componentes funcionales reguladores básicos, pierden la capacidad de sostener su propia fertilidad del suelo y regulación de plagas y enfermedades. Merma en la calidad del suelo, agua y alimentos como consecuencia de la contaminación por pesticidas, nitratos u otros lo que implica una reducción en la calidad de vida (Altieri y Nicholls 2009).

Se estima que la riqueza local de especies ha disminuido en más de un 10% en los últimos 200 años, a nivel mundial en promedio (Newbold *et al.*, 2015) debido principalmente a la intensificación agrícola y malas prácticas de manejo de los agroecosistemas.

La simplificación de los sistemas productivos, conllevan a una alta uniformidad, tanto a escala de finca como de paisaje (Altieri, 1999). En este sentido, es común

observar lotes sembrados con una o pocas especies que, usualmente, son genéticamente homogéneas (Sarandón, 2002).

Múltiples estudios de todo el mundo muestran claramente esta situación que conduce a la simplificación del paisaje y la pérdida de biodiversidad. A su vez, las pérdidas de biodiversidad conducen a las pérdidas de las funciones del ecosistema comprometen su prestación de los servicios y probablemente reduzcan la capacidad de adaptación de estos sistemas a las perturbaciones (Landis, 2017).

Es por ello que los sistemas agrícolas sostenibles y resilientes son una necesidad para alimentar a una creciente población humana. Sin embargo, el modelo actual de intensificación agrícola que produce altos rendimientos también ha resultado en una pérdida de biodiversidad, función ecológica, y servicios ecosistémicos en paisajes agrícolas simplificados. La simplificación del paisaje agrava las pérdidas de biodiversidad que conducen a las ventas de los servicios ecosistémicos de los que depende la agricultura. En décadas recientes, una considerable investigación se ha centrado en la mitigación de estos impactos negativos, principalmente a través de la gestión de hábitats para promover la biodiversidad y mejorar los servicios a escala local. Si bien es bien sabido que los factores locales y paisajísticos interactúan, la modificación de la estructura general del paisaje rara vez se considera debido a limitaciones logísticas (Landis, 2017).

Por su parte Lanz *et al.*, (2018) coinciden con lo planteado anteriormente y argumentan que la agricultura moderna se basa en un pequeño número de cultivos altamente productivos y su expansión ha conllevado a una pérdida significativa de la biodiversidad mundial. Los ecologistas han demostrado que la pérdida de la biodiversidad resulta en una menor productividad. En términos de intensificación de la agricultura, se promueve la simplificación y especialización de agroecosistemas a través de la disminución de la heterogeneidad del paisaje, el mayor uso de productos químicos por unidad de área, y el abandono de las áreas menos fértiles. En combinación, estos procesos han erosionado la cantidad y calidad del hábitat de muchas plantas y animales, y por lo tanto la

disminución de la biodiversidad y la abundancia de especies (Emmerson *et al.*, 2016).

Ante esta situación se impone la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles, al respecto Funes-Monzote, (2009a) sostiene que la meta fundamental de cualquier sistema de producción sostenible es alcanzar la autosuficiencia al menor costo posible, con el mínimo impacto ambiental y la máxima satisfacción de las necesidades humanas.

Los sistemas diversificados de producción de pequeña escala, tienen su fundamento en la búsqueda de la rentabilidad a lo largo del año, aseguran el autoabastecimiento familiar y disminuyen la dependencia de los insumos externos. Varias investigaciones, sugieren que estos sistemas son sosteniblemente productivos, biológicamente regenerativos, eficientes energéticamente y socialmente justos (Altieri, 2002).

En este sentido, Nicholls *et al.* (2017) afirman que los sistemas diversos promueven redes tróficas más complejas, que implican más conexiones e interacciones, creando muchas rutas alternativas para el flujo de energía y materia. Por esta razón, una comunidad más compleja exhibe una producción más estable y resiliente.

Por su parte Funes-Monzote *et al.* (2009) plantean que la diversificación de las fincas productivas en el mundo y en Cuba es de vital importancia no solo porque contribuye al mantenimiento de los mecanismos homeostáticos del sistema, sino también porque constituye fuente de materia prima y alimento para el hombre. A lo planteado anteriormente se le une que permite la utilización de los recursos locales disponibles en función de lograr la mayor productividad del sistema y en consecuencia que este esté en mejores condiciones para soportar la introducción de prácticas agrícolas.

Referente a los beneficios de la biodiversidad en el funcionamiento de los agroecosistemas es válido señalar lo que se afirma en estudios de Altieri y Nicholls (2012) que sostienen que una mayor diversidad dentro de los sistemas de cultivo conduce a una mayor diversidad en la biota asociada. El aumento de

la biodiversidad también conduce a un mayor control de plagas y una polinización más efectiva así como un ciclo de nutrientes más cerrado y eficiente.

La diversidad sobre el suelo tiene gran importancia porque brinda protección al suelo y además el sistema radicular ayuda a estabilizar la infiltración de agua en el perfil, manteniéndola almacenada en los espacios porosos (Altieri *et al.* 2015)

Los mecanismos que se traducen en una mayor productividad en los sistemas diversificados, están integrados en el proceso de facilitación. La facilitación se produce cuando un cultivo modifica el entorno de una forma que favorece a un segundo cultivo, por ejemplo, reduciendo la población de una plaga crítica en el cultivo, o liberando nutrientes que pueden ser aprovechados por el segundo cultivo (Lithourgidis *et al.*, 2011).

De manera práctica, la diversidad biológica agrícola se puede subdividir en planeada y asociada. La diversidad planeada es aquella que es incorporada al sistema por decisión del agricultor y que varía de acuerdo a las estrategias de manejo, tal como un cultivo de maíz (Vandermeer & Perfecto, 1995). La diversidad asociada comprende todos los organismos cuya presencia en el agroecosistema está determinada por la estructura y manejo del mismo, sin la mediación directa de la intervención humana. Es decir, que no son incluidos intencionalmente por el agricultor, como los insectos y aves que se alimentan del maíz o la vegetación que crece espontáneamente dentro del lote y en el borde de los alambrados. La vegetación espontánea, que responde a los diseños y cultivos elegidos, puede ser muy importante en los sistemas que mantienen una alta diversidad cultivada y donde el control por el agricultor es menos intensivo (Stupino *et al.*, 2011).

1.2 Biodiversidad y servicios ecosistémicos

El concepto de servicios ecosistémicos empezó a conocerse a principios de los años 80, y posteriormente durante los años 90 este concepto ha sido introducido en el debate científico debido a los múltiples autores que lo aplicaban a través de diferentes perspectivas de análisis. Con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) en 2005 el concepto consiguió un gran avance más allá del discurso científico. Posteriormente, otras iniciativas promueven el enfoque de la

relación entre biodiversidad y servicios ecosistémicos como por ejemplo la Clasificación Internacional Común para los Servicios de los Ecosistemas (CICES) que propone un marco conceptual para las evaluaciones de los SE (Czúcz *et al.*, 2018).

Por su parte el informe de Economía de Ecosistemas y Biodiversidad (TEEB, 2010) centra su argumentación en el tema de la valoración de los servicios ecosistémicos y señala la necesidad de tener en cuenta valores ecológicos, sociales y monetarios. Así mismo, con la creación del Panel Intergubernamental de la Biodiversidad y los Servicios de los Ecosistemas (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES) se ha ido articulando la información sobre los servicios ecosistémicos en los procesos de toma de decisiones.

El concepto de servicios ecosistémicos (SE) une la ciencia de la biodiversidad y la sociedad mediante la evaluación de los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas para su bienestar (Haines-Young y Potschin, 2010). De este modo, el concepto se integra en diferentes disciplinas científicas de las ciencias naturales y sociales, agrupa diferentes sectores e interesados para discutir el manejo de los recursos naturales y asume la conservación de la biodiversidad y los intereses comerciales.

Varios estudios han identificado que la calidad y la sostenibilidad de los SE dependen de qué tan diversos son los ecosistemas. El papel principal de la biodiversidad es facilitar el funcionamiento y desarrollo de los procesos ecosistémicos, que posteriormente, serán la base de producción de SE (MEA 2005, Polania *et al.*, 2011). Sin embargo existe poco conocimiento sobre cómo las diferentes decisiones agronómicas impactan en la biodiversidad y, a su vez, en todo el conjunto de servicios ecosistémicos que los sistemas pueden suministrar y de los que dependen (Bommarco *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista económico, Cipullo (2016), plantea que a la biodiversidad se le puede atribuir un valor biológico, que se deriva de los componentes que son la fuente de todos nuestros alimentos y muchos de nuestros medicamentos, fibras, combustibles y productos industriales. Los usos directos de los componentes de la biodiversidad contribuyen sustancialmente a la economía.

Pero es posible considerar incluso los valores sociales y culturales: muchas personas desarrollan una profunda apreciación estética de la biodiversidad y sus componentes. Esta apreciación tiene varias dimensiones, incluida una apreciación de cómo la biodiversidad revela la compleja e interconectada historia de la vida en la Tierra y una resonancia con importantes experiencias personales y paisajes familiares o especiales.

Por su parte Schneiders y Müller (2018) afirman que la evaluación de los servicios ecosistémicos debe incluir todo el gradiente desde soluciones naturales hasta soluciones tecnológicas; por lo que es necesario comprender cómo las funciones claves determinan el suministro de SE y cómo dependen de la biodiversidad y el efecto de reducir estas funciones mediante variantes tecnológicas, lo que es crucial en la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza.

Según el marco conceptual desarrollado a través de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), los servicios ecosistémicos provienen tanto de ecosistemas poco alterados así como de aquellos altamente modificados por los humanos como los sistemas agrícolas.

La clasificación de los servicios ecosistémicos realizada por la iniciativa que reunió miles de científicos para la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM) ha sido considerada como referente en la investigación internacional y en los documentos políticos donde se ha aplicado el enfoque de servicios ecosistémicos (Hermann *et al.* 2011). Esta clasificación agrupa los servicios ecosistémicos en:

1. Servicios de provisión: son los bienes y productos materiales que se obtienen de los ecosistemas (alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, petróleo, carbón, gas).
2. Servicios de regulación: son los beneficios resultantes de la (auto) regulación de los procesos ecosistémicos (mantenimiento de la calidad del aire, el control de la erosión, la purificación del agua).

3. Servicios culturales: son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas (enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, recreación).

4. Servicios de soporte: se definen como los servicios y procesos ecológicos (de base) necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos (ciclo de nutrientes/formación de suelo, fotosíntesis/producción primaria, ciclo del agua).

La EEM (2005) permitió identificar cómo la intervención humana en los ecosistemas puede ampliar beneficios directos e indirectos para la sociedad (aumento de cultivos, por ejemplo) y también generar cambios espaciales y temporales que generan transformaciones en los ecosistemas, sus procesos y funciones, afectando el bienestar humano. Los puntos de vista generados en esta iniciativa (EEM, 2005) evidenciaron que existen compensaciones (*trade-off*) entre los servicios de provisión y los servicios de regulación, argumentando que usualmente los primeros se encuentran en mejor estado o se privilegian, en detrimento de los segundos.

En un análisis general sobre el tema, Harrison *et al.*, (2014), plantean que la relación entre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas puede ser tanto positiva como negativa, y que debido a que la biodiversidad puede contribuir a múltiples servicios, habrá compensaciones (*trade off*) o intercambio entre ellos. En este sentido varios autores fundamentan que la biodiversidad estabiliza la entrega de servicios ecosistémicos a través del tiempo (Hooper *et al.*, 2005, Schindler *et al.*, 2010) es por ello que en los últimos años existe un auge del estudio sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos a diferentes escalas.

Recientemente la iniciativa desarrollada en el 2015, La Economía de ecosistemas y biodiversidad TEEB (por sus siglas en inglés) elaboró una lista similar a la mencionada anteriormente (tabla 1).

Tabla 1. Lista de servicios ecosistémicos propuesta por TEEB, (2015):

	Comida
Servicios de aprovisionamiento	Materias primas
	Agua dulce
	Recursos medicinales
	Clima local y calidad del aire
	Secuestro y almacenamiento de carbono
	Moderación de eventos extremos
Servicios de regulación	Tratamiento de aguas residuales
	Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo
	Polinización
	Control biológico
Hábitat o servicios de apoyo	Hábitats para especies
	Mantenimiento de la diversidad genética
	Recreación y salud mental y física
	Turismo
Servicios culturales	Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño
	Experiencia espiritual y sentido del lugar

Al realizar un análisis de la literatura disponible sobre la agricultura y los servicios ecosistémicos Tancigne *et al.* (2014) demuestran que la mayoría de estudios se enfocan en escala de paisaje y en los efectos negativos de las prácticas agrícolas

en el ecosistema; ellos indican que hay una escasez en investigaciones dirigidas a determinar los servicios ecosistémicos que producen los agroecosistemas en sus complejas combinaciones, aspecto también discutido por Heink *et al.* (2016).

Al evaluar la polinización como un servicio de regulación Garibaldi *et al.* (2015) resaltan la importancia a nivel mundial, de garantizar una polinización adecuada ya que podría aumentar el rendimiento de los pequeños agricultores en una mediana del 24%, mejorando los medios de subsistencia de los pequeños agricultores.

La biodiversidad puede desempeñar tres roles diferentes en los servicios de los ecosistemas: como un regulador de los procesos del ecosistema, como un servicio final del ecosistema o como un bien (Mace *et al.*, 2012). Sin embargo, debido a que la descripción de la biodiversidad es complicada, no es sencillo explicar el papel de la biodiversidad o los impactos de su declinación en los servicios ecosistémicos en general (TEEB, 2010). Por lo que es necesario desarrollar investigaciones más abarcadoras que tengan en cuenta evaluaciones con criterios multidisciplinarios de manera que se reconozcan las múltiples dimensiones y utilidades de los servicios ecosistémicos para generar bienestar humano según el contexto, escala y actores involucrados (Saarikoski *et al.* 2016). Además Bogarín (2014) plantea que la investigación de los SE exige aplicar un enfoque transdisciplinario, donde se involucren los actores implicados (sociedad-ecosistema), por lo tanto es necesario contar con la participación activa de la comunidad.

Schneiders y Müller (2018) argumentan que la restauración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos son dos caras de una misma moneda. Resaltan el rol de la biodiversidad como impulsora de todas las relaciones existentes en los sistemas socioecológicos; y destacan que se basa en esquemas muy complejos de interacciones ecológicas con muy alta interdependencia mutua.

Existen varios estudios que evalúan la producción de los servicios provenientes de sistemas agrícolas, pero no consideran el efecto de las buenas prácticas agrícolas; (Stuchi *et al.*, 2011). Es por ello que la evaluación de servicios ecosistémicos constituye un desafío dada la gran variedad de agroecosistemas y sus complejas interacciones.

1.3 Métricas de la biodiversidad agrícola

Existe un amplio consenso en muchos aspectos acerca del efecto de la diversidad sobre las funciones en los ecosistemas. Es decir, que una mayor diversidad incrementa las funciones debido a que diferentes especies juegan roles diferentes y ocupan distintos nichos. Esta relación ha sido más estudiada para pequeñas áreas o para un simple nivel trófico. Por ejemplo, cómo cambia la productividad en los pastizales cuando cambia la diversidad. Sin embargo, poco se conoce aún acerca de las interacciones entre todos los componentes de la cadena trófica y por ende, de cuáles son los índices más apropiados para medir la diversidad funcional (Clergue, *et al.*, 2005).

La medida más simple de medir la biodiversidad de un área es la riqueza, que resulta de contar el número de especies que existen dentro del área (Magurran, 1988). Sin embargo, dentro del conjunto de especies consideradas, no todas son igualmente abundantes. Por lo tanto, se requiere conocer además, la abundancia relativa de las especies. Esta se obtiene contando todos los individuos de cada especie y estimando el porcentaje que cada una contribuye al total. Entonces, un área será más diversa cuando mayor es la riqueza de especies y más equitativa es la distribución de los individuos de cada especie, lo que se denomina equitatividad de las especies. Los índices más conocidos que combinan tanto la riqueza como la abundancia relativa son el de Shannon y el de Simpson.

Estos índices entre otros se han establecido para la medición de la biodiversidad pero su utilización depende del objetivo del estudio y de las características a evaluar en los sistemas (Badii *et al.*, 2007).

En general, los índices utilizados en ecología son de amplia aplicación y pueden utilizarse en los agroecosistemas, pudiéndose calcular, por ejemplo, la diversidad de cultivos o de hábitats en un paisaje agrícola. No obstante, no aportan mucha información acerca de las funciones ecológicas, ya que no fueron contruidos para esto (Stupino *et al.*, 2014).

Los índices se expresan como números o puntajes que se han derivado o transformado a partir de datos cuantitativos. El índice Shannon-Wiener es uno

de los muchos índices de diversidad de especies y se basa en el concepto de uniformidad o equidad (es decir, el grado en que cada especie se representa entre una muestra) y no es afectado por el tamaño de la muestra (Spellerberg, 2008). La aplicación de logaritmos en su fórmula reduce el efecto de las especies más abundantes lo que lo constituye en un buen índice de diversidad (Ramírez, 1999).

La medida de diversidad de Simpson tiene en cuenta las abundancias y es igual a la probabilidad de que dos entidades tomadas al azar del conjunto de datos representen el mismo tipo (Simpson, 1949). Es conocido como una medida de concentración, se utiliza como medida de dominancia, dada su marcada dependencia de las especies más abundantes (Ramírez, 1999).

Por su parte el Índice de Margalef (Mg) estima la diversidad teniendo en cuenta la riqueza de las especies en una comunidad (Ñique, 2010). Es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

Es un buen indicador de los ecosistemas y las variaciones registradas para un mismo lugar en dos tiempos diferentes. Valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad (Margalef, 2002).

1.4 La agroecología como base de una agricultura sostenible

Altieri y Nicholls (2000) definen la Agroecología como una disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica; un nuevo campo de conocimientos que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, la ecología, la sociología, la etnobotánica y otras ciencias afines, con una óptica holística y sistémica y un fuerte componente ético, para generar conocimientos y validar y aplicar estrategias adecuadas para diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas sustentables (Sarandón y Flores 2014).

La agroecología propone principios para aumentar la productividad sobre el terreno, reducir la pobreza rural, mejorar la nutrición de las familias campesinas y aumentar la resiliencia frente al cambio climático (De Schutter, 2010).

Un principio agroecológico clave aplicado desde el inicio del proceso de conversión, es la diversificación del agroecosistema, mediante la adición de diferentes componentes regenerativos tales como la combinación de plantas en arreglos de cultivos intercalados, cultivos y árboles en sistemas agroforestales, animales y árboles en los sistemas silvopastoriles, utilizando leguminosas como cultivos de cobertura o en las rotaciones, según Nicholls *et al.* (2015).

Estos autores resaltan la importancia de la agrobiodiversidad debido a que una comunidad de organismos en un agroecosistema se torna más compleja cuando se incorpora un gran número de diferentes tipos de plantas, lo que conduce a una mayor interacción entre artrópodos y microorganismos, componentes de la biodiversidad arriba y abajo del suelo, promoviendo así los procesos ecológicos que dan estabilidad al sistema agrícola.

La complejidad que logre cada sistema, a través de la intervención del agricultor, determinará el nivel de diversidad presente. Una mayor diversidad permitirá que se den las interacciones necesarias para optimizar los servicios ecológicos. Estos son el fundamento clave para el diseño de sistemas sustentables (Stupino *et al.*, 2014).

Entre las prácticas agroecológicas más radicales que fortalecen la resiliencia de los agricultores y las comunidades rurales a la variabilidad climática se incluyen la diversificación de los agroecosistemas en forma de policultivos, los sistemas agroforestales y los sistemas que combinen la agricultura con la ganadería, acompañados por el manejo orgánico de los suelos, la conservación y la cosecha de agua y un incremento general de la agrobiodiversidad. Los estudios sobre el terreno y los resultados reportados en la literatura sugieren que los agroecosistemas son más resilientes cuando están insertos en una matriz de paisaje compleja, que incluya germoplasma local adaptado en sistemas de cultivos diversificados manejados con suelos ricos en materia orgánica y técnicas de conservación-cosecha de agua (Nicholls y Altieri, 2017).

La biodiversidad se vincula directamente con numerosas funciones ecológicas (Tabla 2) como el control de la erosión, la formación y mantenimiento de suelos fértiles, la purificación del agua, y la regulación de plagas a través de la preservación de insectos benéficos y la vida silvestre (Gliessman, 1998). Por lo que es importante valorar no solo la composición vegetal, sino también su distribución espacial y temporal (Gliessman, 2000).

Tabla 2. Ejemplos de prácticas agroecológicas (diversificación y manejo de suelo) conocidas por sus efectos en la salud del suelo y conservación del agua, que a su vez incrementan la resiliencia del agroecosistema (Nicholls y Altieri, 2017).

Prácticas agroecológicas	Incremento de la materia orgánica del suelo	Reciclaje de nutrientes	> Cobertura del suelo	Reducción de la evapotranspiración	Reducción de escorrentía	> Retención de humedad	> Infiltración	Regulación microclimática	Reducción de la compactación de los suelos	Reducción de la erosión de los suelos	> Regulación hidrológica	> Uso eficiente del agua	> Redes tróficas de micorrizas
DIVERSIFICACIÓN													
Cultivos intercalados			✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	
Agroforestería	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Sistema silvopastoril intensivo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rotación de cultivos		✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓	
Mezcla de variedades locales			✓									✓	
MANEJO DE SUELOS													
Cultivos de cobertura	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
Abonos verdes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓
Mulching	✓	✓	✓			✓			✓	✓			
Aplicación de compost	✓					✓							✓
Agricultura orgánica de labranza cero			✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	
CONSERVACIÓN DE SUELOS													
Curvas a nivel					✓		✓		✓	✓	✓		
Barreras vivas			✓		✓		✓			✓	✓		
Terrazas					✓		✓			✓	✓		

Pequeñas represas entre las cárcavas					✓		✓			✓	✓		
--------------------------------------	--	--	--	--	---	--	---	--	--	---	---	--	--

La agroecología provee las bases ecológicas para la conservación de la biodiversidad en la agricultura, además del rol que ella puede jugar en el restablecimiento del balance ecológico de los agroecosistemas, de manera de alcanzar una producción sustentable. La biodiversidad promueve una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas; cuando estos se pierden, los costos pueden ser significativos. En esencia, el comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola depende del nivel de interacciones entre sus varios componentes (Altieri y Nicholls 2000).

Según Altieri y Nicholls (2001) el diseño agroecológico se orienta en integrar diversos componentes que tienden a aumentar la eficiencia biológica general, preservar la biodiversidad y mantener la capacidad productiva y de autorregulación del agroecosistema. El objetivo es lograr diseñar un agroecosistema que imite la estructura y la función de los ecosistemas naturales locales; esto es, un sistema con una alta diversidad de especies y un suelo biológicamente activo; que promueva el control natural de los insectos potencialmente plaga, el reciclaje de los nutrientes y una alta cobertura del suelo que prevenga las pérdidas de los recursos edáficos.

En fincas hacia la transición agroecológica generalmente, los rendimientos disminuyen durante los primeros 3 a 5 años de la conversión, pero como lo indica un reciente meta-análisis, los rendimientos de los sistemas orgánicos son sólo el 19,2% ($\pm 3,7\%$) inferiores a los rendimientos de los sistemas convencionales, (Ponisio *et al.* 2015). Estos investigadores también encontraron que dos prácticas de diversificación agrícola tales como los cultivos múltiples y las rotaciones, en sistemas orgánicos reducían sustancialmente la brecha de rendimiento (de $9 \pm 4\%$ y $8 \pm 5\%$, respectivamente). Sin embargo no todas las prácticas agroecológicas poseen la misma influencia sobre la agrobiodiversidad.

La composición de la biodiversidad en una finca es un indicador de la salud del ecosistema (Quinn *et al.*, 2013), la cual es mantenida por prácticas en sistemas de agricultura diversificada (Kremen & Miles, 2012).

Las prácticas agrícolas que apuntan a promover la riqueza de especies de grupos taxonómicos individuales pueden aumentar la multifuncionalidad (Finney y Kaye, 2017), pero se desconocen los efectos positivos de los esquemas agroambientales en las relaciones entre múltiples componentes BD y ES (Ekroos *et al.*, 2014; Batáry *et al.*, 2015).

Tilman (1999) defiende que existen varias razones por las cuales los sistemas agrícolas más biológicamente diversos muestran una menor variabilidad del rendimiento y, en ocasiones, rendimientos medios más altos. Debido a que la biodiversidad propicia interacciones simbióticas y complementariedades de uso de los recursos entre las especies, así como distintas formas de responder ante la ocurrencia de eventos externos tales como clima extremo, plagas y patógenos.

Según Nicholls *et al.* (2015), la investigación ha demostrado que la diversificación de los agroecosistemas puede revertir las tendencias a la reducción en los rendimientos a largo plazo, ya que la diversidad de cultivos y de variedades desplegadas en diversos esquemas temporales y espaciales responden de forma diferente a los impactos climáticos externos. En una revisión reciente, se encontró que, en comparación con los monocultivos convencionales, los sistemas agrícolas diversificados presentan sustancialmente mayor biodiversidad, mejor calidad del suelo, y mayor capacidad de retención de agua, y mostraron una mayor eficiencia energética y una mayor resiliencia al cambio climático. En relación a los monocultivos convencionales, los sistemas agrícolas diversificados mejoran la regulación de malezas, enfermedades y plagas, al mismo tiempo que incrementan los servicios de polinización (Kremen y Miles 2012).

Según Silva (2014) los principios agroecológicos que permiten la sustentabilidad biológica y la viabilidad económica de las fincas agropecuarias son: diversificación espacial y temporal, integración de la producción animal y vegetal, mantenimiento de altas tasas de reciclaje de los desechos animales y vegetales y optimización del uso del espacio.

Para determinar que una finca es agroecológica debe pasar por un proceso en el que se vayan incorporando las prácticas agroecológicas y según Casimiro (2016) este tipo de finca tiene las siguientes características:

- Puede vivir la familia campesina, aunque no siempre pasa la noche en ella.
- Para gestionarla se recurre a la mano de obra familiar, pero además puede contratar trabajadores externos de forma permanente o temporal.
- Se promueve la biodiversidad, la autogestión y la equidad.
- Utiliza de forma intensiva el conocimiento, la tecnología y la innovación.
- Utiliza las fuentes renovables de energía y los recursos locales.
- Garantiza el diseño y manejo agroecológico sin el uso de productos químicos contaminantes y con diversas prácticas sostenibles de manejo agropecuario.
- Trata y aprovecha inteligentemente los “residuos”.
- Produce alimentos, insumos e ingresos para el bienestar de la familia, de sus trabajadores y de las comunidades cercanas.
- Debe ser viable económicamente y logra la seguridad alimentaria de la familia y sus trabajadores.
- Fortalece la cultura agroecológica y el diálogo de saberes.

En general el enfoque agroecológico permite un uso más eficiente de los recursos naturales y obtener mayor eficiencia energética y productiva, cultivando la biodiversidad, favoreciendo el ambiente, la economía familiar y la autosuficiencia alimentaria (Funes, 2016).

La agroecología enfatiza la interrelación de todos los componentes del agroecosistema y la dinámica compleja de los procesos ecológicos; es un enfoque alternativo que va más allá del uso de insumos para el desarrollo integrado de los agroecosistemas con mínima dependencia externa en particular de insumos agrícolas (Nicholls *et al.*, 2015); donde el incremento de la agrobiodiversidad juega un papel determinante en el funcionamiento de la finca.

En sentido general el diseño y manejo agroecológico se logra por la correcta aplicación de los principios de la agroecología para lograr efectos diferentes sobre la productividad, la estabilidad y la resiliencia de los sistemas agropecuarios (Nicholls *et al.*, 2016).

1.5 Biodiversidad y eficiencia

A partir de un estudio con datos de 723 agricultores en tres distritos agrícolas de Sri Lanka, recientemente, Karunarathana y Wilson, (2017) proporcionaron evidencia sobre los vínculos entre eficiencia técnica y la biodiversidad agrícola y comprobaron que la que la agrobiodiversidad puede desempeñar un papel importante en el mantenimiento de los sistemas agrícolas respetuosos con el medio ambiente a largo plazo.

La eficiencia del proceso de producción agrícola se evalúa mediante indicadores tales como :

-Rendimiento: En los sistemas de cultivo, el rendimiento se refiere a la producción de cultivos por unidad de área de tierra (kg ha^{-1}). En los sistemas pecuarios, el rendimiento se mide como la producción de productos de origen animal (leche, carne o huevos) por animal de ganado por día (Chigwa *et al.*, 2015) o la producción de leche por animal por período de lactancia (Descheemaeker *et al.*, 2011). El rendimiento del ganado también se mide como la eficiencia de conversión del alimento en carne ($\text{kg de carne kg}^{-1}$ de alimento) (Herrero *et al.*, 2010).

– Riesgo económico: una mayor diversidad de cultivos permite un mejor uso de los recursos en el agroecosistema. Las tecnologías de bajos insumos reducen la dependencia de insumos externos (Gliessman, 1998; Altieri, 2002). Al comercializar más de un producto el productor disminuye el riesgo económico.

-Una variante del rendimiento del cultivo que es muy relevante para las mezclas de especies cultivadas comúnmente en pequeñas fincas es la relación de equivalencia de tierra (LER) o índice de utilización de la tierra (IUT) (Altieri, 1999; Valet y Ozier-Lafontaine, 2014, Funes-Monzote, 2009), utilizada para medir el rendimiento de sistemas intercalados relativo a los monocultivos. LER mayor que 1 indica que la intercalación es más productivo que cuando la tierra disponible se dedica al cultivo exclusivo de los cultivos involucrados.

- Un indicador de la productividad es la brecha de rendimiento, o la diferencia entre el rendimiento real del sistema de cultivo y el rendimiento alcanzable (Mueller *et al.*, 2012; Tittonell, 2013). El rendimiento alcanzable es el rendimiento que podría lograrse en las condiciones existentes del suelo, la disponibilidad de agua, la radiación solar y las temperaturas si todos los nutrientes tensiones y presiones de las plagas fueron removidas.

-El valor del cultivo es un indicador comúnmente citado de la sostenibilidad económica (ISPC, 2014; Vanlauwe *et al.*, 2014). Se usan varias métricas para determinar el valor de los cultivos a nivel de campo. El valor del cultivo se mide con mayor frecuencia como la rentabilidad de un cultivo (los ingresos del cultivo menos los costos de los insumos) (Kahinda y Masiyandima, 2014; Silici, 2010). En términos de eficiencia técnica, la diversidad agrícola puede aumentar el nivel de eficiencia de la finca de tres maneras:

1. Utilizar el trabajo familiar de manera óptima cuando mantienen un sistema agrícola diverso. Diferentes cultivos pueden requerir mano de obra en diferentes períodos de tiempo. Por lo tanto, el trabajo familiar puede distribuirse fácilmente entre diferentes cultivos y / o ganado a fin de obtener los máximos beneficios.
2. Los sistemas agrícolas diversos minimizan el riesgo externo que los agricultores a menudo enfrentan. La integración agricultura ganadería es probable que minimice el riesgo de un ataque de una enfermedad o los efectos de la sequía. Esto se debe a que, por ejemplo, mientras que una enfermedad puede devastar cultivos, un agricultor todavía puede obtener algunos ingresos de su ganado.
3. Un sistema agrícola biológicamente rico puede mejorar la fertilidad del suelo y minimizar los costos de los insumos a largo plazo.

Posterior al análisis realizado sobre las relaciones entre agrobiodiversidad, servicios ecosistémicos y agroecología se tienen todos los argumentos para respaldar la perspectiva de que los ecosistemas multifuncionales, biodiversos, que implementen prácticas de manejo que optimicen el uso de la tierra y gestionen eficientemente los servicios ecosistémicos, deben convertirse en el paradigma del manejo sostenible de los agroecosistemas.

Capítulo II

Materiales y métodos

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización de la finca en estudio

El estudio se realizó en la finca El Desquite, ubicada en el municipio Los Arabos, provincia de Matanzas (figura 1). Esta entidad productiva pertenece a la CCS fortalecida Mártires del Moncada. Para la selección de la finca se tuvo en cuenta la información histórica, su tiempo de explotación, la biodiversidad, el empleo de prácticas agroecológicas tradicionales y el nivel de productividad.

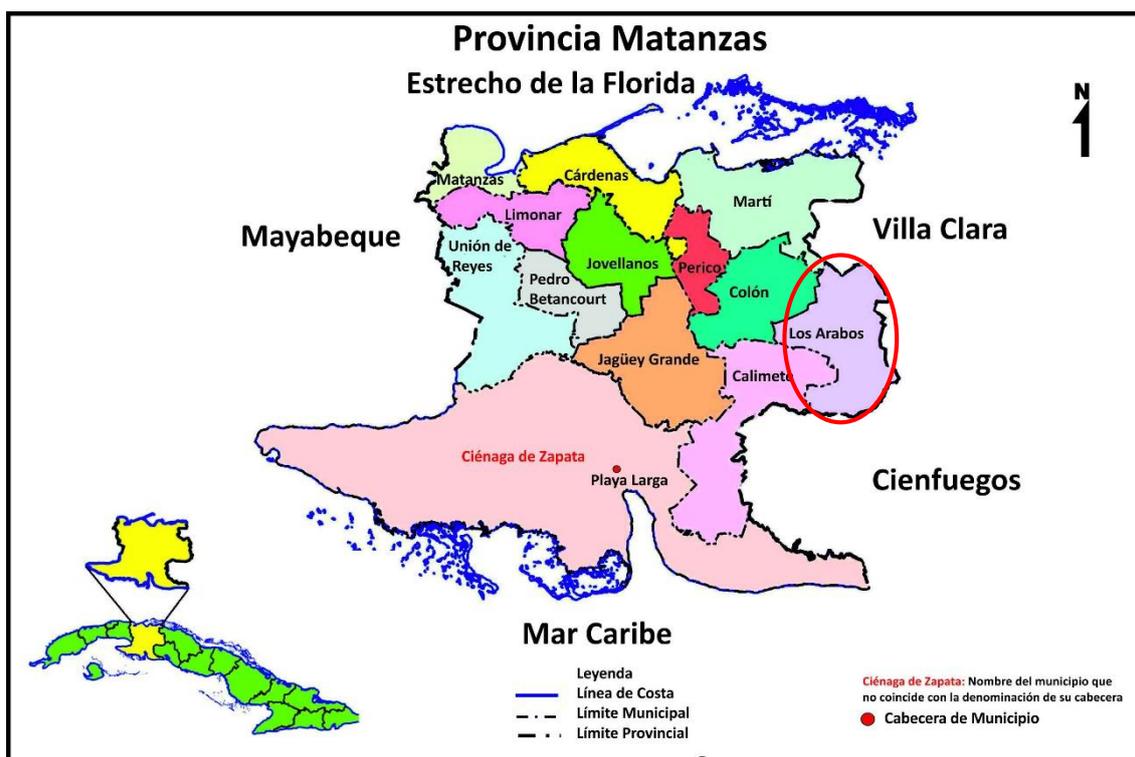


Figura 1. Ubicación de la finca El Desquite

Según la Oficina Nacional de Estadísticas (2016) el municipio Los Arabos se encuentra enclavado en la llanura roja Habana-Matanzas, en la parte oeste de la provincia Matanzas; su superficie total es de 760,1 Km², ocupando por su extensión el sexto lugar y el 6,4% del territorio provincial. Existen 34 asentamientos poblacionales, de ellos 4 clasificados como urbanos y los 30 restantes como rurales. La población residente es de 24 825 habitantes, con una densidad de 32,7 habitantes por km², lo que representa el 3,6 % de la densidad poblacional de la provincia.

2.2 Clima

La temperatura promedio anual es de 24 °C aproximadamente. Las precipitaciones oscilan entre 1 400 – 1 500 mm, existiendo notables diferencias entre el período seco (noviembre - abril) y el período húmedo (mayo - octubre). La humedad relativa oscila entre 65 – 80 % según la época del año.

En la figura 2 se presentan los datos de las precipitaciones registradas en la finca durante el año 2017, estos datos fueron registrados a través de un pluviómetro ubicado allí.

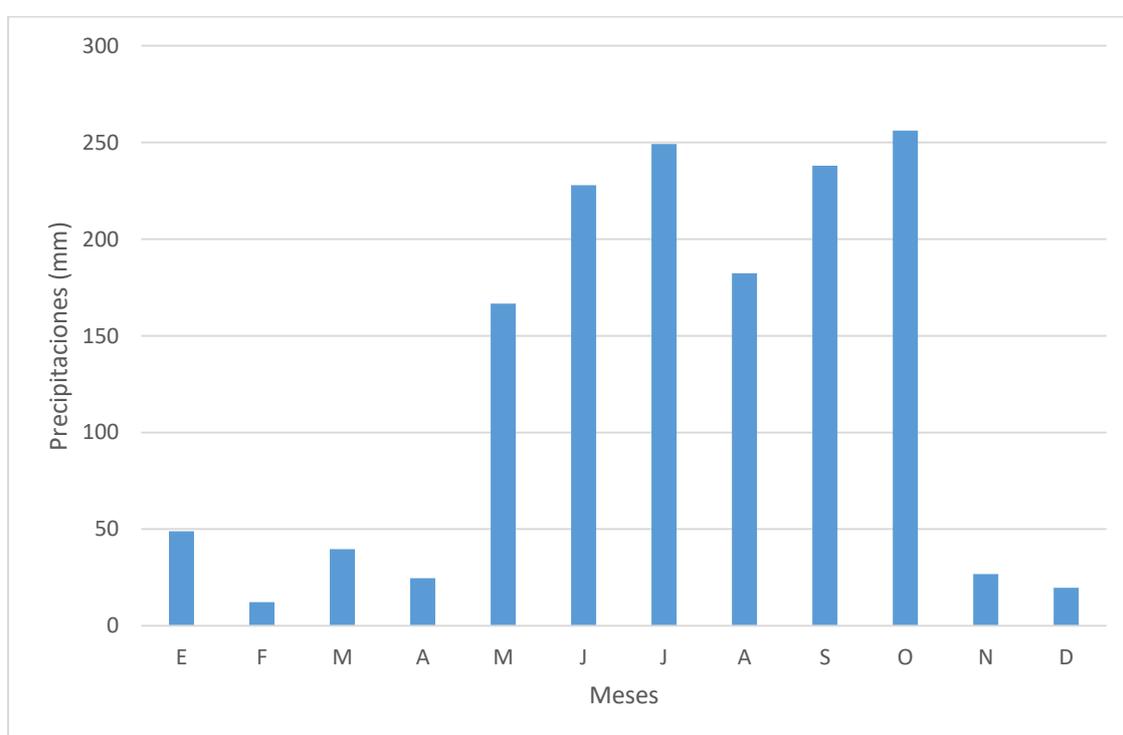


Figura 2 Comportamiento de las precipitaciones en la finca El Desquite durante el año 2017.

2.3 Suelos

El suelo de la finca se clasifica como Ferralítico rojo; según Hernández *et al.*, (2015) los suelos que pertenecen a este agrupamiento se encuentran formados de caliza, en relieves jóvenes. Se caracterizan por presentar un perfil ABC con un horizonte B ferralítico, con CIC en arcilla menor de 20 cmol kg⁻¹

2.4 Procedimiento experimental

La metodología experimental empleada se basó en un estudio de caso con un enfoque de sistema como herramienta. Debido a la complejidad y particularidades del agroecosistema y para comprender las relaciones existentes entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la finca objeto de estudio. Esta metodología permite el estudio de las particularidades del sistema evaluado (la finca), teniendo en cuenta su estructura, componentes y funcionamiento.

Se realizó una caracterización del agroecosistema y se aplicó una encuesta socioproductiva (Anexo 1), se analizó la disponibilidad de las tierras y el agua, la fuerza laboral, las condiciones de la vivienda y las principales limitaciones del lugar.

La recolección de los datos necesarios para calcular los índices de biodiversidad se realizó mediante un inventario de todas las especies presentes en el agroecosistema y se cuantificaron el número de individuos por especies de árboles, cultivos y animales, en el caso de los cultivos varios y la caña se estimó el número de individuos teniendo en cuenta los valores de densidad de siembra o plantación.

Posteriormente se calcularon los índices de biodiversidad (Tabla 3) en la finca El Desquite durante el ciclo anual de producción 2017 estos índices fueron descritos por Moreno (2001) y se determinaron con la utilización del software Diversity Species & Richness 3.02 (Henderson y Seaby 2002).

Tabla 3. Indicadores de biodiversidad evaluados

Indicador	Unidad	Método de cálculo
Diversidad de especies	Índice de Shannon-Wearner (H)	Incluye número de especies agrícola o pecuario y la total del sistema $H = \sum p_i \ln p_i$ Donde:

		<p>p_i = abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.</p>
		<p>Incluye número de especies de árboles frutales, maderables y postes vivos.</p>
Índice de Dominancia	Índice de Simpson	$\lambda = \sum p_i^2$ <p>Donde:</p> <p>p_i = abundancia proporcional de la especie i</p>
		<p>Incluye especies de cultivos, árboles y animales domésticos</p>
		$IM = (S - 1) / \ln N$
Riqueza de especies	Índice de Margalef (IM)	<p>Donde:</p> <p>S= Número total de especies</p> <p>N= Número total de individuos de todas las especies, incluye animales, cultivos, frutales y forestales</p>
		<p>Proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada.</p>
Equitatividad	Índice de equitatividad de Pielou (J)	$J' = H' / H'_{max}$ <p>Donde $H'_{max} = \ln (S)$.</p>

Para la interpretación de los índices de biodiversidad se siguieron los siguientes criterios:

- Índice de diversidad de Shannon-Weaner (H): su valor se encuentra entre 1,5 y 3,5 difícilmente sobrepasa el valor de 4,5 (Campo y Duval, 2014).
- Índice de Simpson: Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (Moreno, 2001)
- Índice de Margalef (IM): Valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad (Margalef, 2002).
- Índice de equitatividad de Pielou (J): su valor va de 0 a 0,1, de forma que 0,1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundante (Moreno, 2001)

Teniendo en cuenta el conocimiento de los productores se analizaron cada una de las especies identificadas y se valoró su funcionalidad dentro del agroecosistema para reconocer el valor que se puede atribuir a la biodiversidad; lo cual es el punto de partida para tomar en consideración la conexión estricta entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos presentes en la finca.

Se identificaron los servicios ecosistémicos por categoría y los provistos por la agrobiodiversidad. Se cuantificaron los servicios ecosistémicos en cada uno de los subsistemas de la finca, además, se relacionaron la provisión de servicios ecosistémicos con las prácticas agroecológicas implementadas.

Se analizan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos así como su relación con la productividad de la finca durante el año 2017.

Teniendo en cuenta las prácticas de manejo agroecológico que se implementan en la finca, en una asociación de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con maíz (*Zea mays* L.) se determinó el índice de utilización de la tierra (IUT) (Funes-Monzote, 2009) que estima la superficie necesaria en monocultivo para obtener el mismo rendimiento que se obtiene en una ha de policultivo y se calcula a través de la fórmula:

$$IUT = \frac{\text{Rend C1Pol} + \text{Rend C2Po}}{\text{Rend C1Mon} + \text{Rend C2 Mon}}$$

Para la interpretación de este indicador se tiene en cuenta lo planteado por Smith *et al.* (2017) quienes afirman que un resultado de este índice mayor que 1 revela que la intercalación es más productiva que cuando la tierra disponible se dedica al cultivo exclusivo de los cultivos involucrados. Actualmente, esto solo se aplica a los sistemas de cultivo, pero el potencial podría ser valioso como un enfoque a considerar para los sistemas mixtos de ganado.

Capítulo III
Resultados y
Discusión

Capítulo III. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de la finca El Desquite

La finca El Desquite ubicada en el municipio de Los Arabos, pertenece a la Cooperativa de Créditos y Servicios fortalecida, Mártires del Moncada y en la región se distingue por su elevada productividad y por su valor histórico, su nombre se debe a la ocurrencia de un hecho histórico, pues por la cantidad de árboles que había en el lugar el general Antonio Maceo y Grajales decidió acampar junto a su tropa allí, cuando la invasión de Oriente a Occidente, en este lugar fueron sorprendidos por los españoles y a pesar de la resistencia las tropas cubanas sufrieron algunas bajas y Maceo le dijo a su tropa- ¡Ahora vamos al desquite! Por eso existe una tarja que resalta el valor histórico del lugar.

Actualmente la finca resalta por el valor de su paisaje agrícola, es considerada un oasis de biodiversidad en un paisaje en el que predominan las plantaciones de monocultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en esta entidad productiva además de caña, la vegetación está representada por otros cultivos agrícolas, vegetación anual, y por arboledas de frutales, maderables y café fundamentalmente, también se destaca por la presencia de palmas (*Roystonea regia* Kunth) (figura 3).



Figura 3 Vista satelital de la finca El Desquite

La propietaria es Xiomara Chouza Horta de 54 años de edad, es ingeniera química y considera que su familia tiene tradición campesina, su núcleo familiar está compuesto por su esposo Jorge López Leyva de 60 años de edad, graduado de Licenciatura en Economía de la industria, ambos trabajan en el CAI México del municipio de Colón y también se encargan de la administración de la finca, su hijo mayor Carlos Reyes Chouza (30 años), es médico de profesión aunque desde pequeño colabora con las labores agrícolas y *Jorge Carlos López Chouza*, estudiante de Ingeniería agrónoma en la Universidad de Matanzas y autor de la presente investigación.

Históricamente el cultivo de la caña de azúcar ha sido su principal producción y lo continúa siendo, por constituir una fuente de ingresos seguro, es por ello que le dedican el 62,4% de la tierra, el respecto Landis (2017) plantea que la diversidad de cultivos disminuye a medida que los agricultores se concentran en los pocos cultivos básicos económicamente más viables. Sin embargo en los últimos años en la finca se ha trabajado con el objetivo de diversificar las producciones, logrando la distribución temporal de las labores agrícolas y con ello obtener alimentos e ingresos durante todo el año a partir de la venta de las producciones.

La fuerza laboral permanente es de 3 trabajadores, pero cuando hay más necesidad de mano de obra el promedio es de 6 trabajadores diarios que pueden llegar hasta 15 en el período de siembra de la caña,

La entidad productiva El Desquite tiene un área de 52,87 ha distribuidas como se muestra en la tabla 4

Tabla 4. Distribución de la tierra en la finca El Desquite

Uso de la tierra	ha
Área total	52,87
<i>Área cultivada</i>	47
Cultivos varios	6
Frutales+ forestal	8
Caña	33
<i>Área no cultivada</i>	5,87
Pastoreo	5
Improductiva	0
Instalaciones	0,87

El perímetro de la finca está delimitado con cercas de cardón principalmente, también se encuentran cercas de alambre con postes vivos de *Gliricidia sepium* Jacq (árbol florido). En este sentido es importante resaltar la funcionalidad de las cercas vivas, según Casimiro *et al.* (2017) cumplen varias funciones en el diseño agroecológico ya que además de establecer los límites físicos de la finca y de los cuartones, son nichos para la reproducción de una vida silvestre funcional en cuanto a la regulación de plagas, pues actúan como reservorio de enemigos naturales de estas, al crearles condiciones para una reproducción y equilibrio.

Los animales presentes en la finca tienen como principal función proporcionar una fuente de proteína animal para el consumo además de otros usos como tracción animal, y como transporte, aunque la cría de animales no es la principal actividad

de la finca la presencia de animales en el agroecosistema según Salmón (2011) resulta beneficioso para la agricultura y quienes la ejecutan; sus papeles principales se relacionan con su contribución al reciclaje de nutrientes, la conservación del suelo y la capacidad de transformar la fitomasa en fuentes de alimentos y bienes de uso para el hombre y el propio animal. En la tabla 5 se presenta la composición de animales presentes en la finca y la función que estos desempeñan en el agroecosistema.

Tabla 5. Cantidad de animales presentes en El Desquite y su función

Animal	Cantidad	Función
Abejas (<i>Apis mellifera</i>)	36 (colmenas)	Polinización y producción de miel
Gallinas (<i>Gallus gallus domesticus</i>)	54	Producción de huevos y como alimento humano
Caballos (<i>Equus caballus</i>)	5	Transporte
Bueyes (<i>Bos taurus</i>)	2	Tracción animal
Cerdos (<i>Sus scrofa domesticus</i>)	158	Alimento humano
Guanajos (<i>Meleagris gallopavo</i>)	9	Alimento humano
Perros (<i>Canis lupus familiaris</i>)	4	custodia y mascota

Los productores reconocen que no existe una adecuada integración entre el componente animal presente en la finca y las producciones vegetales, pues se pueden aprovechar las excretas de estos tanto para producir compost como para producir energía si se contara con un biodigestor para el procesamiento de la excreta de los cerdos principalmente.

Para alimentar los animales en existencia, se utilizan, harinas y tortas, de soya (*Glycine max*), girasol (*Helianthus annuus*), maíz (*Zea mays*) y palmiche, además

se fabrica yogurt de yuca, en el caso de las gallinas se crían de manera silvestre por ello se alimentan fundamentalmente del ateje (*Cordia alliodora* Ruiz & Pav).

Para la realización de las labores agrícolas existe en la finca un tractor, carreta, un arado de vertedera, un arado de discos, un multiarado, un surcador, una grada de pinchos, una cosechadora y un molino a viento, una yunta de bueyes e implementos de trabajo manual. Para garantizar el riego existen cuatro pozos en perfecto estado técnico aunque solo uno está en explotación porque solo cuentan con un sistema de riego para 6 hectáreas

Las instalaciones presentes en la finca tienen buen estado constructivo y cuenta con dos casas, un albergue, un almacén para los insumos, corrales para la cría de aves, cerdos, carneros, bueyes y corraletas para el ganado mayor.

3.2 Análisis de la biodiversidad

En el inventario realizado a los componentes de la biodiversidad se pudieron cuantificar 109 especies de plantas y animales y se comprobó que la distribución espacial no es equitativa, sin embargo se destacan especies vegetales (tabla 6) de alto valor para la alimentación humana y animal y brindan importantes servicios en el ecosistema

Tabla 6. Especies más representativas del sistema

Uso	Especies
Producción de azúcar y otros derivados en la Industria	caña (<i>S officinarum</i>)
Granos	Frijol (<i>P. vulgaris</i>), Maíz (<i>Z. mays</i>), Maní (<i>A. hypogaea</i>),
Frutales	16 variedades de Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill), 11 variedades de mango (<i>Mangifera indica</i>); 8 variedades de plátano (<i>Musa x paradisiaca</i>), 5 variedades de

	guayaba (<i>Psidium guajava</i>), 5 variedades de café (<i>Coffea sp</i>), 3 variedades de limón (<i>Citrus x limón</i>)
Cercas vivas y cortinas rompevientos	3 variedades de Coco (<i>Cocos nucifera</i> L.), 2 especies de pino (<i>Pinus sp.</i>), Árbol florido (<i>Gliricidia sepium</i>) y Almácigo (<i>Bursera simaruba</i>)
Tubérculos	Yuca (<i>M. esculenta</i>), Boniato (<i>I. batatas</i>),
Maderables	Caoba (<i>Swietenia mahagoni</i> L. Jacq), cedro (<i>Cedrela odorata</i> L),almácigo (<i>Bursera simaruba</i> L) albizia (<i>Albizia lebeck</i> Benth)
Alimento animal	Ateje (<i>Cordia alliodora</i> Ruiz & Pav), titonia (<i>Tithonia diversifolia</i>)

Es importante resaltar que los productores prefieren mantener especies que puedan ofrecer múltiples funciones en la finca, las especies más representativas del agroecosistema son multifuncionales o sea que una especie puede tener varios usos y brindar diversos servicios ecosistémicos, lo que coincide con Lefcheck *et al.*, (2015) quienes afirman que la biodiversidad de múltiples taxones mejora la multifuncionalidad.

Salmón (2012) al evaluar los componentes de la biodiversidad en una finca agroecológica en la provincia de Las Tunas, Cuba, reportó una variedad de especies con varios usos destacándose además de las especies melíferas, grupos de plantas útiles para postes vivos, maderables y frutales.

La caña (*S officinarum*) es la especie con mayor número de individuos y es el cultivo que mayor área ocupa dentro del agroecosistema seguido por el cardón que se encuentra establecido como cerca viva en 2,3 km de perímetro. El campesino decide cómo se organiza espacial y temporalmente la diversidad dentro de su finca,

establece cuál es el tamaño de los lotes, el tipo de especie o variedad de cultivo que va a utilizar, la distancia entre plantas, etc y en el caso de la finca El Desquite, debido a que el cultivo de la caña genera los mayores ingresos es el que más área ocupa.

3.2.1 Índices de biodiversidad

Las prácticas agroecológicas desarrolladas en la finca, favorecen la biodiversidad de las producciones, contribuyen a lograr el manejo sostenible de los recursos y estimulan el uso de las riquezas disponibles en el agroecosistema y otros insumos orgánicos que ayudan a minimizar el impacto ambiental y a reducir los costos energéticos de la producción.

Los resultados de los índices de la biodiversidad que se analizaron se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Comportamiento de los indicadores de biodiversidad

Índice	Resultado
Riqueza específica (S)	109
Índice de Margalef (Dmg)	7,72
Índice de Shannon (H)	1,48
Equidad (J)	0,31
Índice de Simpson (D)	0,22

Se encontró que la riqueza específica fue de 109 especies, lo cual se corresponde con el número total de especies obtenido en el censo (Moreno, 2001)

El valor del índice de Margalef $Dmg = 7,72$, es alto y superior al encontrado por Milián *et al.* (2018) que obtuvo un índice de 5,03 al evaluar la funcionalidad de biodiversidad de los árboles en una finca en transición agroecológica, este índice supone que existe una relación entre el número de especies y el número total de

individuos este resultado evidencia que existen especies con una mayor abundancia en el sistema evaluado.

Los resultados obtenidos a través del índice de Shannon-Wiener $H= 1,48$, muestran el efecto del manejo en la diversidad; además indican que no existe uniformidad en la distribución de las especies; o sea que no todas las especies están representadas equitativamente. La diversidad de especies son características que reflejan la estructura y distingue a una comunidad de otra por lo que también se le da el nombre de heterogeneidad de especies (Moreno, 2001). Uno de los factores que pudo haber influido en el hecho de encontrar una baja diversidad a través del índice de Shannon fue la abundancia de las especies con mayor cantidad de individuos (caña, cardón, frijol) que se diferencian de otros grupos de especies representados con menos de 10 individuos por especie.

A través del índice de Simpson $D= 0,22$ se resalta la dominancia de unas cuantas especies en la estructura de la comunidad, es decir que en esta finca existe una probabilidad de un 22 % de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie; que en este caso serían de las especies más abundantes. Resultados similares obtuvieron López *et al.* (2013) al evaluar la influencia del incremento de la biodiversidad agrícola en la sostenibilidad de una finca cafetalera del macizo Guamuhaya, estos autores obtuvieron una dominancia con un valor de 0,21 para el primer año de evaluación y lograron a través de prácticas agroecológicas disminuir hasta 0,12 ocho años después.

En El Desquite, las especies más dominantes fueron *S officinarum* con un 89,6% de dominancia con respecto al total de especies cuantificadas en segundo lugar el cardón con el 3,8%. En total se registraron 20 especies con abundancias menores o iguales a cinco, las menos representadas fueron yagruma (*Cecropia peltata*), güira (*Crescentia cujete*), framboyán (*Delonix regia*) y araucaria con dos individuos por cada una de las especies

Por su parte la equitatividad obtenida a través del índice de Pielou $J= 0,31$ evidencia que existe un mayor número de especies que si tienen una distribución uniforme

dentro del agroecosistema, sin embargo para que el agroecosistema sea considerado de alta biodiversidad la riqueza de especies debe ser alta y a su vez más equitativa en cuanto a la distribución de los individuos de cada especie.

Los resultados obtenidos a través de la determinación de los índices evidencian que este agroecosistema es biodiverso aunque no existe uniformidad en cuanto a la distribución del número de individuos por especie. La evaluación de los índices brindan una medida cuantitativa sin embargo su valoración ecológica es difícil y suele ser muy controvertida ya que depende del objetivo del estudio, en esta investigación es necesario hacer otras valoraciones porque pudiera suceder lo que plantean Duncan *et al.*, (2015) quienes reportan que solo unas pocas especies dominantes contribuyen a la provisión de servicios ecosistémicos concordando con Gamfeldt y Roger (2017), quienes desafían la idea de que considerar múltiples funciones aumenta la necesidad de una gran biodiversidad en general.

Los servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad dependerán entonces del contexto en el que se desarrolla el ecosistema, las prácticas de manejo de la agrobiodiversidad y la funcionalidad de cada una de las especies, porque unas pocas especies pueden cumplir múltiples funciones y brindar diversos SE, así como una alta riqueza no necesariamente implica que exista diversidad de servicios ecosistémicos.

3.2.2 Prácticas de manejo que contribuyen al aumento de la biodiversidad

Para el diseño y el manejo de agroecosistemas diversificados donde los insumos externos son sustituidos por procesos naturales tales como la fertilidad natural del suelo, la alelopatía y el control biológico (Nicholls *et al.*, 2015) es necesario implementar prácticas de manejo que contribuyen con uno o más principios agroecológicos, en la finca objeto de estudio las prácticas que se realizan y su relación con los principios agroecológicos según Vázquez *et al.* (2012), son los siguientes:

- Rotación de cultivos que contribuye a la diversificación de especies y de recursos genéticos en el agroecosistema a través del tiempo, espacio y paisaje, entre otros beneficios
- Uso de insecticidas microbioanos y/o botánicos, que permiten fortalecer el sistema inmunológico de los sistemas agrícolas mediante el mejoramiento de la biodiversidad funcional (enemigos naturales, antagonistas, etc.), mediante la creación de hábitats adecuados.
- Cercas vivas, reconocidas por aumentar las interacciones biológicas y las sinergías entre los componentes de la diversidad biológica agrícola, promoviendo así los procesos y servicios ecológicos claves.
- Cultivos intercalados y agroforestería con estas prácticas se favorecen el incremento del reciclaje de biomasa, los cultivos responden mejor ante un ataque de plagas, mejoran las condiciones del suelo a través de la incorporación de materia orgánica y el aumento de la actividad biológica del suelo; entre otros beneficios

El diseño y manejo de prácticas agroecológicas debe tener en cuenta no solo la composición vegetal, sino también su ordenación espacial y temporal (Gliessman, 2000). Tal es el caso de la diversificación espacial presente en el sistema agroforestal con una diversificación por estratos, donde se encuentra establecido el café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex, Froehner, variedad robusta) bajo la sombra de una plantación de cedro (*Cedrela odorata*). Entre estas especies ocurre el proceso de facilitación descrito por Lithourgidis *et al.* (2011), el cedro es capaz de modificar el entorno y crear las condiciones necesarias de sombra para el café, sin embargo en los meses de febrero a mayo, cuando ocurre la floración del café este cultivo necesita un 70 % de luz y en esta etapa coincide con la caída de las hojas del cedro por lo que el café recibe mayor radiación.

3.2.3 Determinación del índice de utilización de la tierra (IUT)

Durante el año 2017 se diseñó un arreglo espacial con el objetivo de asociar maíz con frijol en 4 hectáreas con un arreglo de 4 surcos de frijol con 1 de maíz, por las

ventajas que presenta esta asociación, al respecto Vera *et al.* (2015) encontraron que en una asociación maíz-frijol se reportó una mayor representatividad de insectos benéficos con respecto al monocultivo.

Para el cálculo del índice de utilización de la tierra (IUT) se determinaron los rendimientos de cada una de las especies tanto en policultivos como en monocultivos tabla 8.

Tabla 8. Rendimientos de cada especie (t/ha) acorde a los diferentes arreglos espaciales.

Descripción del diseño espacial de la biodiversidad	Rendimiento del frijol (t/ha)	Rendimiento del maíz (t/ha)
4 surcos de frijol-1 surco de maíz	1,29	2,1
Frijol en monocultivo	1,56	
Maíz en monocultivo		2,6

Los resultados obtenidos confirman que en los sistemas de policultivos las especies no aumentan los rendimientos individuales de cada cultivo, sino que se obtienen beneficios mutuos con respecto a un mejor uso de la tierra, así como control de las malezas y las plagas, mediante el aumento de la biodiversidad.

El índice de utilización de la tierra tuvo un valor de 1,63, lo que significa que se necesitarían 1,63 hectáreas en monocultivo para obtener el mismo rendimiento que se obtiene en una ha de policultivo; es importante resaltar los benéficos del incremento de la biodiversidad espacial en el policultivo ya que se reduce la cantidad de entrada energética por unidad de producto final y se logra optimizar el uso de los recursos naturales disponibles como los nutrientes, el agua y la energía (Funes-Monzote, 2009)

Resultados similares a los obtenidos en esta investigación consiguieron González y Pérez (2013) quienes evaluaron varios arreglos espaciales de maíz-girasol, estos autores obtuvieron un índice de 1,88 en un policultivo donde en un mismo surco sembraron frijol con girasol intercalado.

Altieri y Nicholls (2012) afirman que los policultivos más tradicionales presentan valores mayores que 1,5 del índice de utilización de la tierra (IUT) lo que significa que en promedio se necesita 1,5 hectáreas de monocultivo para obtener la misma producción que una hectárea de policultivo. Las ventajas que le atribuyen a los arreglos espaciales de varios cultivos son de tipo cultural, nutricional, biológico y económico, y se ha demostrado que permiten disminuir los riesgos, Al respecto Altieri y Nicholls (2007) encontraron en una asociación maíz-frijol, un incremento en la abundancia de artrópodos depredadores y parasitoides de plagas debido a la expansión en la disponibilidad de presas alternativas, fuentes de polen, néctar y micro-hábitats, todos recursos importantes para atraer y retener insectos benéficos.

En una investigación desarrollada en China Huang *et al.* (2015) exploraron los beneficios de los sistemas intercalados de maíz-soya, maíz-garbanzo y maíz-nabo, estos autores encontraron que los sistemas intercalados presentaron mayores rendimientos relativos en casi todos los casos comparados con sus homólogos de monocultivos. Además, observaron que los sistemas intercalados eran más eficientes en remover el nitrógeno del suelo, lo que indica un aumento de la eficiencia en el uso de este recurso en los policultivos donde se involucra una leguminosa.

Por su parte Zhang y Li (2003) proponen el “principio de producción por competencia-recuperación” basado en varios años de estudios de sistemas intercalados de cultivos. Ellos sugieren que las interacciones interespecíficas aumentan el crecimiento, la absorción de nutrientes y el rendimiento de las especies dominantes, pero disminuye el crecimiento y la absorción de nutrientes del cultivo subordinado durante la fase de coexistencia de las dos especies de cultivo. Después de que el cultivo dominante es cosechado, el cultivo subordinado tiene una

recuperación, lo que al final se refleja en rendimientos estables o incluso mejores en comparación con los monocultivos correspondientes.

3.3 Relaciones entre la agrobiodiversidad y servicios ecosistémicos

3.3.1 Identificación de los servicios ecosistémicos presentes en la finca El Desquite

A partir evaluación de la agrobiodiversidad, su distribución espacial y temporal y las prácticas de manejo agroecológico desarrolladas en la finca El Desquite, se identificaron los servicios ecosistémicos (Tabla 9.)

Tabla 9. Identificación de los servicios ecosistémicos presentes en la finca El Desquite según la clasificación de la MEA (2005)

Categoría de SE	Número de servicios	de Servicios ecosistémicos
Provisión	6	Incremento de la productividad
		Producción de alimentos de calidad
		Aprovechamiento de fuentes renovables de energía
		Producción de materias primas para la industria
		Disponibilidad de recursos medicinales
		Producción de madera y leña
Regulación	13	Actividad biológica en el suelo
		Producción de biomasa
		Barreras rompevientos
		Control biológico

		<p>Calidad del aire</p> <p>Regulación del flujo de agua</p> <p>Calidad del suelo</p> <p>Fertilidad de suelo</p> <p>Secuestro y almacenamiento de carbono</p> <p>Formación de suelo</p> <p>Fijación de nitrógeno</p> <p>Polinización</p> <p>Prevención de la erosión del suelo</p>
		<p>Avistamiento de aves</p> <p>Conexión espiritual</p> <p>enseñanza de prácticas agrícolas</p> <p>Herencia cultural</p>
Culturales	8	<p>Lugar para llevar educación ambiental e investigación científica</p> <p>Valor histórico</p> <p>Provisión de recursos para culto y decoración</p> <p>Valor estético</p>
Soporte	6	<p>Conservación de la biodiversidad</p>

Calidad del habitat

Diversidad en el uso de la tierra

Hábitat para vida silvestre

Soporte de invertebrados

Paisaje

En general se identificaron un total de 33 servicios ecosistémicos relacionados con la agrobiodiversidad presente en la finca, en la figura 4 se muestra la distribución relativa de los servicios ecosistémicos identificados.

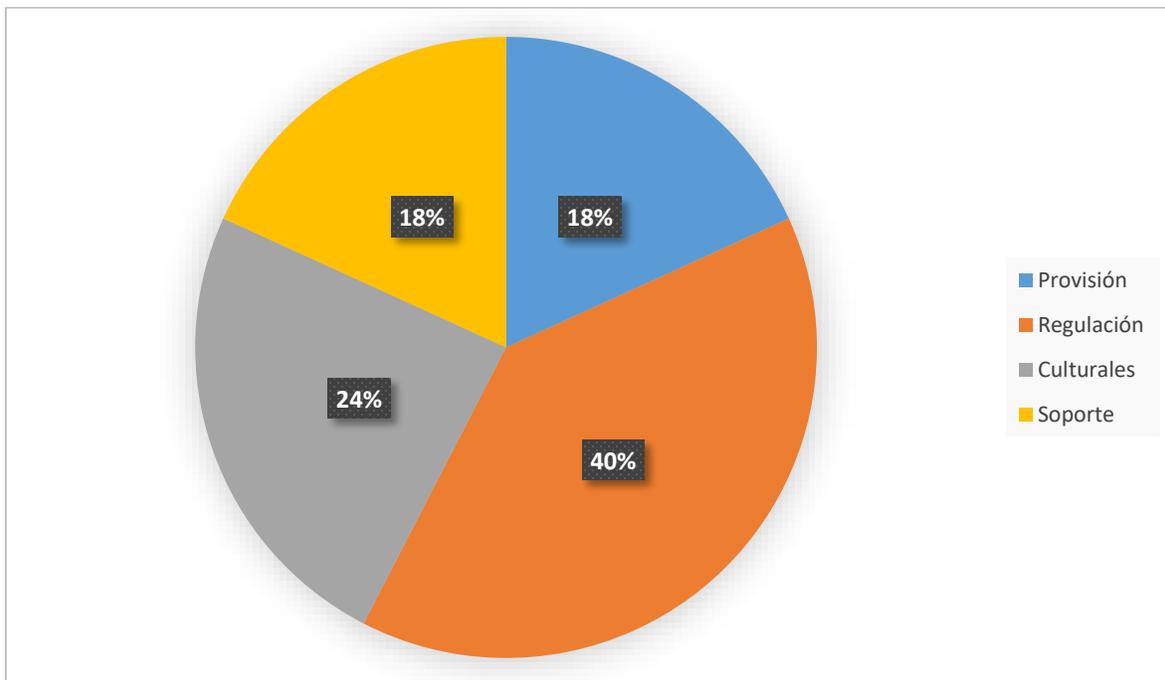


Figura 4. Distribución relativa de los servicios ecosistémicos en la Finca El Desquite.

Se encontró que los servicios ecosistémicos de regulación fueron los mayormente representados con un 40 % del total, seguido por los servicios culturales con un 24 %, y los de provisión y soporte ambos con un 18 %, esta valoración tuvo en cuenta el manejo de la agrobiodiversidad y las prácticas de manejo agroecológicas empleadas en la finca.

Para la determinación de las relaciones existentes entre la agrobiodiversidad y los servicios ecosistémicos se consideraron los aspectos del manejo que favorecen a la biodiversidad y la ocurrencia de procesos ecológicos, porque recientemente Iermanó *et al.* (2017) señalaban que este tipo de evaluaciones también incluyen a los otros recursos comúnmente evaluados (suelo y agua), ya que la biodiversidad atraviesa directa o indirectamente todos los aspectos considerados. Estos autores argumentan que la biodiversidad incide en la calidad del suelo, a través de aspectos como el aporte de materia orgánica de diferentes orígenes, la diversidad de organismos de suelo, el manejo de malezas, entre otros. De la misma manera, la captación y almacenamiento de agua depende de la vegetación que la intercepta, de la cobertura del suelo, de la cantidad de materia orgánica, que a su vez dependen de los aspectos que los favorecen. Entonces, las estrategias de manejo que permiten la preservación de los recursos naturales están íntimamente relacionadas entre sí y con el manejo de la biodiversidad.

A partir de la identificación de los servicios ecosistémicos se pudo determinar que el servicio de provisión con solo el 18 % es el de mayor importancia para los productores porque tiene una relación directa con la productividad y los ingresos; en esta categoría, también se encuentran relacionados los servicios de aprovechamiento de fuentes renovables de energía ya que en la Finca se utiliza un molino a viento, aunque pudieran diversificar la obtención de energía por la puesta en marcha de un biodigestor, calentadores solares, entre otros, lo cual incrementaría el número de servicios en esta categoría.

En cuanto a la producción de materias primas para la industria que también pertenece a los servicios de provisión se destaca el cultivo de la caña de azúcar con rendimientos de 84 t/ha, durante el año 2017, que son entregadas en el CAI Mario

Muñoz para la obtención de azúcar y otros subproductos, asimismo la guayaba y el mango que se cosechan se comercializa con la industria en el municipio Los Arabos.

En cuanto la disponibilidad de los recursos medicinales en la finca se destacan especies que tradicionalmente tienen ese uso, tal es el caso de la sábila (*Aloe vera*), la majagua (*Taliparitis elatus* Sw), el tamarindo (*Tamarindus indica*), la cereza (*Prunus cerasus*), que son plantas bien conocidas por sus propiedades medicinales.

Las especies que tienen como finalidad la producción de madera y leña son caoba (*Cecropia peltata*), cedro (*Cedrela odorata*), majagua (*Taliparitis elatus*) y pino (*Pinus sp.*) fundamentalmente.

Referente a los servicios en la categoría de regulación Altieri *et al.* (2007) resaltan que los sistemas agrarios diversificados desarrollan propiedades ecológicas que aumentan su capacidad de autorregulación y las posibilidades de mantener el equilibrio, por las múltiples relaciones entre sus componentes bióticos y abióticos. Se considera que todas las especies vegetales presentes en el agroecosistema evaluado tienen un papel determinante en la calidad del aire ya que a través del proceso de la fotosíntesis todas las plantas contribuyen con este servicio.

El incremento de la actividad biológica del suelo es otro servicio de regulación que brinda la agrobiodiversidad en la finca a partir del manejo de la hojarasca de los árboles y las condiciones de humedad y sombra que ellos proporcionan lo que permite condiciones óptimas para el desarrollo de la fauna edáfica (Cabrera, 2014).

En sentido general, las especies que mayor aporte tienen con el servicio de regulación en esta agroecosistema son los árboles que según Reed *et al.* (2017) contribuyen al reciclaje de nutrientes, secuestran y almacenan carbono, intervienen en la formación de los suelos, apoyan los servicios de polinización, son fuentes de fibras y combustibles, favorecen hábitat de otras especies y actúan en la regulación del clima y el agua

La presencia de varios estratos arbóreos apoyan la regulación de la dinámica del agua de varias formas: actuando como barreras, las cuales controlan la escorrentía;

como cobertura, la cual reduce el impacto de gota, y como mejoradores del suelo, incrementando la infiltración y la retención de agua.

Los sistemas agroforestales ofrecen más beneficios ambientales que los cultivos de una sola especie, además de responder a las necesidades de la producción agropecuaria (Beer *et al.* 2003), proveen diversos servicios ecosistémicos como la conservación de los suelos, el mejoramiento del reciclaje de nutrientes, la regulación del ciclo hídrico y el control de plagas y enfermedades. También generan beneficios económicos gracias a los productos secundarios como madera, leña y frutos.

Se ha demostrado que la presencia de árboles en los sistemas de producción agrícola ha mejorado los contenidos de nitrógeno en el suelo, controlado la erosión causada por las lluvias, disminuido el estrés calórico de los animales y ha generado aumento en la calidad y cantidad de la producción, además de capturar carbono a través de procesos de la fotosíntesis y la provisión de madera, leña, y alimento para las familias y los animales (Rapidel 2015, Polania *et al.* 2011).

Por su parte el servicio de polinización reviste gran importancia ya que una adecuada polinización podría aumentar el rendimiento hasta en un 24 % (Garibaldi *et al.*, 2015). En este sentido Benjamin *et al.*(2014) refieren que los polinizadores dependen de hábitats naturales en paisajes agrícolas para proporcionar alimento y hábitats de anidación, por lo que la provisión de servicios de polinización para los cultivos depende de la escala en la que esos hábitats están disponibles.

En la categoría de servicios culturales el agroecosistema evaluado presenta potencialidades para el avistamiento de aves, tal es el caso de los pitirres que siempre hacen su nido en las plantas de naranja (*Citrus x aurantium*) presentes en la arboleda, además existe una alta presencia de tomeguines y otras aves.

El servicio de conexión espiritual, lo posibilita la presencia de plantas que son utilizadas en rituales religiosos como la Ceiba (*Ceiba pentandra*), yagruma (*Cecropia peltata*); además, el conocimiento de los productores sobre prácticas agroecológicas es transmitido entre generaciones y propicia un polígono

experimental para desarrollar acciones de educación ambiental e investigación científica.

Simultáneamente la agrobiodiversidad presente en la finca genera otros servicios ecosistémicos generados en la categoría de soporte, como calidad de hábitat para otras especies, conservación de la biodiversidad, condiciones propicias para el desarrollo de invertebrados y variedad en el uso de la tierra.

3.4.2 Contribución de las prácticas de manejo agroecológico a los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite

La diversificación de las fincas productivas en el mundo y en Cuba es de vital importancia no solo porque contribuye al mantenimiento de los mecanismos homeostáticos del sistema, sino también porque constituye fuente de materia prima y alimento para el hombre. Además, permite la utilización de los recursos locales disponibles en función de lograr la mayor productividad del sistema y en consecuencia lograr mejores condiciones para soportar la introducción de las denominadas prácticas agrícolas (Funes *et al.*, 2009).

Como parte de la gestión del agroecosistema los agricultores deciden en sus fincas las prácticas de manejo que pueden implementar en función de elevar la productividad en equilibrio con los servicios ecosistémicos y la biodiversidad.

En la finca El Desquite el incremento de la biodiversidad a partir de diferentes prácticas ha contribuido con el aumento de la productividad, lo que tiene una gran influencia sobre los servicios ecosistémicos de provisión, en tal sentido los policultivos que consisten en la siembra de más de una especie en una misma parcela, donde comparten gran parte del ciclo del cultivo, consiguen un aprovechamiento del uso de la tierra más eficientes que los monocultivos, avalado por el índice de utilización de la tierra determinado anteriormente en un policultivo frijol-maíz.

Por su parte la rotación de cultivos que se realiza en las 6 hectáreas destinadas a la producción de cultivos varios, incrementan la diversidad del sistema en el tiempo (diversidad temporal) (Glieman, 2002). Esta práctica es de gran importancia porque los residuos de cosecha varían química y biológicamente, estimulan la actividad biológica de diferentes organismos del suelo (diversidad funcional), lo que constituye un servicio de regulación. Las rotaciones correctamente diseñadas e implementadas logran promover la actividad de organismos que son controladores de plagas o enfermedades del cultivo siguiente (Servicio de regulación). Además, favorece otros servicios de regulación a través de la mejora de la estructura y fertilidad del suelo, la reducción de la erosión y el aporte de materia orgánica.

El uso de cercas vivas y barreras rompevientos constituye una práctica muy funcional que contribuye a delimitar los espacios y también sirve de hábitat para la vida silvestre (servicio de soporte); en el caso de los árboles que se usan con este fin como es la *Gliricidia spium* que es considerada una planta melífera tiene gran relación con la polinización (servicio de regulación).

El control biológico como servicio de regulación que en la finca se potencia con el uso de insecticidas microbioanos y/o botánicos, usualmente disminuye el riesgo ecológico en relación al uso de plaguicidas beneficiando directamente a los productores (Galic *et al.*, 2012) y a la sostenibilidad del agroecosistema.

Por su parte la agroforestería, con el uso de árboles multipropósitos incide en las cuatro categorías de servicios ecosistémicos (provisión, regulación, cultural y de soporte) proporcionando efectos significativos sobre la biodiversidad, y otros beneficios como son: árboles de sombra, especies fijadores de nitrógeno, aumento de la productividad, incremento de la polinización, mejora de la calidad de las producciones, conservación de aves migratorias y beneficios en los procesos del suelo.

A partir del análisis anterior se evidencia que la diversidad de árboles multifuncionales manejados con arreglos espaciales en la finca EL Desquite proporciona múltiples servicios ecosistémicos que contribuyen a la productividad y

resiliencia de este agroecosistema. De manera general se coincide con Altieri & Toledo (2011) quienes afirman que las prácticas de manejo en sistemas agrícolas diversificados, promueven las interacciones biológicas y las sinergias con los componentes del agroecosistema.

A pesar de los impactos a los que se ven sometidos los ecosistemas agrícolas, existen alternativas de manejo que permiten el incremento de la biodiversidad y la prestación de múltiples servicios ecosistémicos. Por lo que el enfoque agroecológico es un punto de partida para entender la relación entre los servicios ecosistémicos, y la biodiversidad en los agroecosistemas.

Conclusiones

Conclusiones

La caracterización socioproductiva de la finca El Desquite evidencia la diversificación presente en el agroecosistema, así como las prácticas de manejo agroecológico que en él se desarrollan.

La determinación de los índices de biodiversidad demuestra que el agroecosistema evaluado presenta una alta riqueza de especies, con una baja uniformidad en su distribución dado por la dominancia de los individuos del cultivo de la caña principalmente.

La provisión de los servicios ecosistémicos en la finca El Desquite, depende de la agrobiodiversidad multifuncional y las prácticas de manejo agroecológico que se gestionan en esta entidad productiva.

Recomendaciones

Recomendaciones

Continuar los estudios de caso en otros agroecosistemas como contribución al conocimiento de las relaciones entre la agrobiodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Divulgar los resultados de esta investigación en eventos científicos.

Bibliografía

Bibliografía

- Admiraal, J. F., Wossink, A., de Groot, W. T., & de Snoo, G. R. More than total economic value: How to combine economic valuation of biodiversity with ecological resilience. *Ecological Economics*, 89, 115-122, 2013.
- Altieri, M. & Toledo, V.M. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies* Vol. 38, No. 3, 587–612, 2011.
- Altieri, M. A & Nicholls, Clara I. Agroecología: principios y estrategias para una agricultura sustentable en la América Latina del Siglo XXI. *Disponible en la página www. agroeco. Org*, 2001.
- Altieri, M. A & Nicholls, Clara I. Applying agroecological concepts to development of ecologically based pest management strategies. *Professional societies and ecologically based pest management*, 14-19, 2000.
- Altieri, M. A & Nicholls, Clara. I. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología*, 24(4), 5-8, 2009.
- Altieri, M. A. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo: Nordan–Comunidad, 1999.
- Altieri, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 3 (93): 1-24, 2002.
- Altieri, M. A. Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environ. Dev. Sustain.* 1, 197–217, 1999.
- Altieri, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31, 1999.
- Altieri, M. A. y Nicholls, Clara I. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7 (2): 65-83, 2012.
- Altieri, M. A. y Nicholls, Clara I. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas, en Icaria, 2007, p.p. 160, Barcelona.

- Altieri, M. A; Nicholls Clara I. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*, Vol. 16, p.p. 37-43, 2007.
- Altieri, M. A; Nicholls, Clara I; Henao, A & Lana, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainability Development* 35: 869–890, 2015.
- Altieri, M. A; Nicholls, Clara. I; Henao, A & Lana, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 869–890, 2015.
- Altieri, M., Ponti, L & Nicholls, C. El manejo de plagas a través de la diversificación de las plantas. *LEISA, Revista de Agroecología*, 22(4), 9-12, 2007.
- Badii, M; Landeros, R; Foroughbackch, R & Abreu, J. Biodiversidad, evolución, extinción y sustentabilidad. *Daena: International Journal of Good Consciencie* 2 (2): 229-247, 2007.
- Batáry, P; Dicks, L. V; Kleijn, D & Sutherland, W. J. The role of agri-environment schemes in conservation and environmental management. *Conservation Biology*, 29(4), 1006-1016, 2015.
- Birkhofer, K., Rusch, A., Andersson, G. K., Bommarco, R., Dänhardt, J., Ekbom, B., *et al.* A framework to identify indicator species for ecosystem services in agricultural landscapes. *Ecological Indicators*, 91, 278-286, 2018.
- Bogarín, N. Servicios ecosistémicos reconocidos por los habitantes de la zona de amortiguamiento del Macizo Peñas Blancas, en el territorio Centro Norte de Nicaragua (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2014.
- Bommarco, R; Kleijn, D & Potts, S. G. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in ecology & evolution*, 28 (4), 230-238, 2013.
- Cabrera, G. Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35 (4), 349-364, 2014.

- Campo, A. M & Duval, V. S. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 34, No. 2, p. 25). Universidad Complutense de Madrid. 2014.
- Casimiro, Leidy. Necesidad de una transición agroecológica en Cuba, perspectivas y retos. *Pastos y Forrajes*, 39 (3), 81-91, 2016.
- Casimiro, Leidy; Casimiro, J. A & Suárez, J. Bases metodológicas. Estudio de caso. En: Resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. 2017. p. 59-152.
- Chigwa, F. C; Eik, L. O; Kifaro, G. C; Muhikambe, V. C. M & Mushi, D. E. Alternative goat kid-rearing systems for improved performance and milk sharing between humans and offspring in climate change mitigation. In *Sustainable Intensification to Advance Food Security and Enhance Climate Resilience in Africa* (pp. 331-341). Springer International Publishing. 2015.
- Cipullo, Nadia. Biodiversity indicators: the accounting point of view. *Procedia economics and finance*. 39. 539-344. 2016.
- Clergue, B; Amiaud, B; Pervanchon, F; Lasserre-Joulin, F & Plantureux, S. Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. *Agronomy for sustainable development*, 25(1), 1-15, 2005.
- Czucz, B; Arany, I; Potschin-Young, M; Bereczki, K; Kertész, M; Kiss, M & Haines-Young, R. Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. *Ecosystem Services*, 29, 145-157, 2018.
- De Schutter, O. La agroecología y el derecho a la alimentación. *Informe presentado ante el 16º período de sesiones del Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas. Nueva York, Naciones Unidas*. 2010.
- Descheemaeker, K; Amede, T; Hailelassie, A & Bossio, D. Analysis of gaps and possible interventions for improving water productivity in crop livestock systems of Ethiopia. *Experimental Agriculture*, 47(S1), 21-38, 2011.

- Duncan, C; Thompson, J. R; & Pettorelli, N. The quest for a mechanistic understanding of biodiversity-ecosystem services relationships. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 10, 2015.
- EEM. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. Washington D.C: Island Press. 2005.
- Ekroos, J; Olsson, O; Rundlöf, M; Wätzold, F & Smith, H. G. Optimizing agri-environment schemes for biodiversity, ecosystem services or both?. *Biological Conservation*, 172, 65-71, 2014.
- Emmerson, M; Morales, M. B; Oñate, J. J; Batáry, P; Berendse, F; Liira, J & Pärt, T. How agricultural intensification affects biodiversity and ecosystem services. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 55, pp. 43-97). Academic Press. 2016.
- Finney, D. M & Kaye, J. P. Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 509-517, 2017.
- Funes, F. Actualidad de la agroecología en Cuba. En: F. Funes-Aguilar y L. L. Vázquez Moreno, eds. *Avances de la agroecología en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. p. 19-46, 2016.
- Funes-Monzote, F. R. *Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2009.
- Funes-Monzote, F. R.; Monzote, Marta; Lantinga, E. A. & Van Keulen, H. Conversion of specialised dairy farming systems into sustainable mixed farming systems in Cuba. *Environment, Development and Sustainability*, 11 (4): 765-783, 2009.
- Galic, N., Schmolke, A., Forbes, V., Baveco, H., & van den Brink, P. J. The role of ecological models in linking ecological risk assessment to ecosystem services in agroecosystems. *Science of The Total Environment*, 415, 93-100, 2012.
- Garibaldi, L. A; Bartomeus, I; Bommarco, R; Klein, A. M; Cunningham, S. A; Aizen, M. A. *et al* Trait matching of flower visitors and crops predicts fruit set better than trait diversity. *J. Appl. Ecol.* 52, 1436–1444, 2015.

- Gliessman, S. R. (Ed.). *Agroecosystem sustainability: developing practical strategies*. CRC Press, 2000.
- Gliessman, S. R. Agroecology and agroecosystems. *The earthscan reader in sustainable agriculture*. London: Earthscan, 104-114, 2005.
- Gliessman, S. R. *Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI. 1998.
- Gliessman, S. R. Agroecology: Researching the ecological processes in sustainable agriculture. *Biology: The Challenge of Biodiversity, Biotechnology, and Sustainable Agriculture*. Taipei (Taiwan): Academia Sinica, 173-186. 1998.
- Haines-Young, R & Potschin, M. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*, 1, 110-139, 2010.
- Harrison, P.A.; Berry, P.; Simpson, G.; Haslet, J. R.; Blicharca, M.; Bucur, M. *et al.* Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: a systematic review. *Ecosystem Services*. 9, p 191-193, 2014.
- Harvey, C.; Medina, A.; Sánchez, D.; Vilchez, S.; Hernández, B.; Saénz, J. C.; Maes, J. M.; Casanoves, F & Sinclair, F. L. Patterns of animal diversity associated with different forms of tree cover retained in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986-1999, 2006.
- Heink, U; Hauck, J; Jax, K; Sukopp, U. Requirements for the selection of ecosystem service indicators – The case of MAES indicators. *Ecological Indicators* 61, 18–26, 2016.
- Henderson, P. A. & Seaby, R. H. Species Diversity and Richness 3.02. Pisces Conservation Ltd, Lymington, UK. <http://www.pisces-conservation.com>. [12/03/18], 2002.
- Hermann A, Schleifer S, Wrbka F. The Concept of Ecosystem Services Regarding Landscape Research: A Review. *Living Reviews in Landscape Research* 5: 37, 2011.
- Hernández, J. A; Pérez, J. J. M; Bosch, I. D & Castro, S. N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. *Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA*. 2015.

- Herrero, M; Thornton, P. K; Notenbaert, A. M; Wood, S; Msangi, S; Freeman, H. A; Bossio, D; Dixon, J; Peters, M; van de Steeg, J. *et al.* Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science* 327, 822–825, 2010.
- Hooper, D. U; Chapin, F. S; Ewel, J. J; Hector, A; Inchausti, P; Lavorel, S & Schmid, B. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 75(1), 3-35, 2005.
- Huang, C; Liu Q; Heerink, N; Stomph, T; Li, B; Liu R. *et al.* Economic Performance and Sustainability of a Novel Intercropping System on the North China Plain. *PLoS ONE* 10(8): e0135518, 2015.
- Iermanó, María José; Gargoloff, Agustina, Sarandón, S & Almada Carolina. Análisis de la biodiversidad funcional: un instrumento para abordar la dimensión ecológico-productiva de la sustentabilidad. Conference: VI Congreso Latinoamericano de Agroecología (SOCLA) y X Congreso Brasileiro de Agroecología (ABA). 2017.
- ISPC. Data, Metrics and Monitoring in CGIAR – A Strategic Study, Report: Rome, Italy: CGIAR Independent Science and Partnership Council. 2014.
- Kahinda, J. M & Masiyandima, M. The role of better water management in agriculture for poverty reduction. In: Pittock, J., Grafton, Q., White, C. (Eds.), *Water, Food and Agricultural Sustainability in Southern Africa*. Tilde University Press, Prahran, Australia, 55–90, 2014.
- Karunaratna, M & Wilson, C. Agricultural biodiversity and farm level technical efficiency: An empirical investigation. *Journal of Forest Economics*, 29, 38-46, 2017.
- Khoury, C. K; Bjorkman, A. D; Dempewolf, H; Ramirez, J; Guarino, L; Jarvis, A. *et al.* Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(11), 4001-4006, 2014.
- Kremen C, & Miles, A. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society* 17: (4)1-40, 2012.

- Krishna, K. R. Agroecosystems: soils, climate, crops, nutrient dynamics, and productivity. Apple Academic Press, Oakville, ON, Canada and CRC Press, Boca Raton, FL. 2014. 515 pp.
- Landis, D. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology* 18, 1–12, 2017.
- Lanz, B; Dietz, S & Swanson, T. The expansion of modern agriculture and global biodiversity decline: An integrated assessment. *Ecological Economics*, 144, 260-277, 2018.
- Lefcheck, J. S; Bastazini, V. A & Griffin, J. N. Choosing and using multiple traits in functional diversity research. *Environmental Conservation*, 42 (2), 104-107. 2015.
- León, T. E. Perspectiva ambiental de la agroecología. La ciencia de los agroecosistemas (Primera edición ed.). Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. 2014.
- Lithourgidis, A. S; Dordas, C. A; Damalas, C. A & Vlachostergios, D. N. Annual Intercrops: An Alternative Pathway for Sustainable Agriculture. *Australian Journal of Crop Science* 5: 396-410, 2011.
- López, R. R. P; Ortiz, R. S & Castro, A. S. Influencia del incremento de la biodiversidad agrícola en la sostenibilidad de una finca cafetalera del macizo Guamuhaya. *Revista Científica Agroecosistemas*, 1(1), 2013.
- Mace, G. M; Norris, K & Fitter, A. H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in ecology & evolution*, 27(1), 19-26, 2012.
- Magurran, A. E. Why diversity?. In *Ecological diversity and its measurement* (pp. 1-5). Springer, Dordrecht. 1988.
- Margalef, R. Diversidad y biodiversidad. En: A. Bonet, ed. Gestión de espacios protegidos. Alicante. España: Universidad de Alicante, Departamento de Ecología. 2002.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis (Borrador final). Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Washington, D.C.: World Resources Institute, PNUMA. 2005. 43 p.

- Milián, Idolkys; Sánchez, Saray; Wencomo, Hilda. B; Ramírez, Wendy & Navarro, Marlen. Estudio de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica La Paulina del municipio de Perico, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41(1), 50-55, 2018.
- Moreno, C. Métodos para medir diversidad. M&T Manuales y Tesis. SEA. I, 84. 2001.
- Mueller, N. D; Gerber, J. S; Johnston, M; Ray, D. K; Ramankutty, N & Foley, J. A. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490 (7419), 254, 2012.
- Newbold, T; Hudson, L. N; Hill, S. L; Contu, S; Lysenko, I; Senior, R. A. *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520 (7545), 45, 2015.
- Nicholls, Clara I; Altieri, M. A. & Vázquez, L. L. Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10 (1): 61-72, 2017.
- Ñique, M. Biodiversidad: Clasificación y Cuantificación. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 17 p. 2010.
- Odum, H. T. Environmental accounting: emergy and environmental decision making. Wiley. 1996.
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., *et al.* Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in ecology & evolution*, 30(11), 673-684, 2015.
- ONEI. Anuario estadístico de Los Arabos 2016. La Habana: Oficina Nacional de Estadística e Información. <http://www.one.cu/aed2016/25Matanzas/Municipios/Los Arabos.pdf>, 2016.
- Pant, Mirka Laurila; Lehikoinen, A; Ussitalo, Laura & Venesjärvi, Riikka. How to value biodiversity in environmental management? *Ecological Indicators* 55. 1-11, 2015.
- Polania, C; Pla, L & Casanoves, F. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos en: Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Editado por Fernando Casanoves, Laura Pla y Julio

- A Di Rienzo. 1 ed. Turrialba, CR: CATIE, 2011. 84 p. *Serie técnica. Informe técnico/ CATIE*; no.384, 2011.
- Poniso, L. C; M'Gonigle, L. K; Mace, K. C; Palomino, J; de Valpine, P & Kremen, C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B*, 282(1799), 20141396, 2015.
- Quinn, J. E; Brandle, J. R & Johnson, R. J. A farm-scale biodiversity and ecosystem services assessment tool: the healthy farm index. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(2), 176-192, 2013.
- Ramírez, A. *Ecología Aplicada. Diseño y análisis estadístico*. Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 1999. 325 pp
- Reed, J; Van Vianen, J; Foli, S; Clendenning, J; Yang, K; MacDonald, M & Sunderland, T. Trees for life: The ecosystem service contribution of trees to food production and livelihoods in the tropics. *Forest Policy and Economics*, 84, 62-71, 2017.
- Saarikoski, H; Barton, D. N; Mustajoki, J; Keune, H; Gomez, E & Langemeyer, J. Multi-criteria decision analysis (MCDA) in ecosystem service valuation. In *Open NESS ecosystem services reference book/Potschin, M. [edit.]; et al.* (pp. 1-6), 2016.
- Saarikoski, H; Mustajoki, J; Barton, D.N; Geneletti, D; Langemeyer, J; Gomez, E. *et al.* Multi-Criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis: Comparing alternative frameworks for integrated valuation of ecosystem services. *Ecosystem Services* 22, 238–249, 2016.
- Salmón, Yamilka. Evaluación de la funcionalidad de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica “Las Palmitas” del municipio Las Tunas. Tesis en opción al título académico de Máster en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2011.
- Salmón, Yamilka; Funes-Monzote, F. R. & Martín, Olga M. Evaluación de la funcionalidad de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica “Las Palmitas” del municipio Las Tunas. *Pastos y Forrajes*. 35 (3):321-332, 2012.

- Sarandón, S. J. & Flores, C. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata, 2014
- Sarandón, S. J. El agroecosistema: un sistema natural modificado. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina, 2002.
- Sarandón, S.J. Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. En: Altieri, M. (Ed.). Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. Publicado por SOCLA. 2009. Capítulo 4: 95-116. 2009.
- Schindler, D. W & Lee, P. G. Comprehensive conservation planning to protect biodiversity and ecosystem services in Canadian boreal regions under a warming climate and increasing exploitation. *Biological Conservation*, 143(7), 1571-1586, 2010.
- Schneiders, A; Van Daele, T; Van Landuyt, W & Van Reeth, W. Biodiversity and ecosystem services: complementary approaches for ecosystem management?. *Ecological Indicators*, 21, 123-133, 2012.
- Schneiders, Anick.& Müller, M . Restoring biodiversity & ecosystem services: two sides of de same coin? Chapter 2.2 A natural base for ecosystem services. In: Burkhard B., Maes J. (Eds) Mapping Ecosystem Services. Advanced Books. 2018.
- Silici, L. Conservation Agriculture and Sustainable Crop Intensification in Lesotho. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, (Report). 2010.
- Silva, C. Marco normativo en materia agroecológica (producción agrícola). 2014.
- Simpson, E. H. Measurement of diversity. *Nature* 163 (4148), 688. 1949.
- Spellerberg, I. F. *Enciclopedia of ecology*. 3249-3252. 2008.
- Stuchi, J; de Melo, E; Gutiérrez, I; De Clerck, F & Rivera, J. Identificación participativa. *Manejo agroecológico*, 51. 2011.

- Stupino S; Iermanó, M. J, Gargoloff, N. A y Bonicatto, M. M La biodiversidad en los agroecosistemas. En: SJ Sarandón y C.C Flores (ed.) Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo 5: 131-158. 2014.
- Stupino, S. A; Sarandón, S. J & Frangi, J. L. El rol de la vegetación espontánea en sistemas hortícolas de La Plata, Argentina desde la percepción de los agricultores. *Cuadernos de Agroecología* 6 (2): 6pp. 2011.
- Swift, M. J., Izac, A. M., & van Noordwijk, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104 (1), 113-134, 2004.
- Tancigne, E; Barbier, M; Cointet, J. P & Richard G. The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services* 10: 35-48, 2014.
- TEEB. Biodiversity, ecosystems and ecosystem services. In *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations*. Ed. P Kumar, pp. 4-63: TEEB. 2010.
- TEEB. *The Economics of Ecosystems & Biodiversity: Ecosystem Services*. Hosted by UNEP TEEB office, Geneva, Switzerland. URL: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>. Last accessed May 2015. 2015.
- Tilman, D. Diversity and production in European grasslands. *Science* 286, 1099-1100, 1999.
- Tittonell, P. Towards ecologically intensive smallholder farming systems: design, scales and trade-offs evaluation. In: Vanlauwe, B., van Asten, P., Blomme, G. (Eds.), *Agro-Ecological Intensification of Agricultural Systems in the African Highlands*. Routledge, London, 132–144, 2013.
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., Rüter, P. C., Putten, W. H., Birkhofer, K., *et al.* Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global change biology*, 21(2), 973-985, 2015

- Valet, S; Ozier, H. Ecosystem services of multispecific and multistratified cropping systems. In: Ozier-Lafontaine, H., Lesueur-Jannoyer, M. (Eds.), *Agroecology and Global Change*. Springer, New York, 185–268, 2014.
- Vandermeer, J & Perfecto, I. *Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destruction*. Food First Books, Oakland. 185 pp. 1995.
- Vanlauwe, B; Coyne, D; Gockowski, J; Hauser, S; Huising, J; Masso, C; Nziguheba, G; Schut, M & Van Asten, P Sustainable intensification and the African smallholder farmer. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8, 15–22, 2014.
- Zhang F; Li, L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil* 248: 305–312, 2003.

Anexos

Anexos

Anexo 1. Encuesta socioproductiva

Diagnóstico de las fincas.

Características generales:

Ubicación:

Área total: _____ Área ganadera _____ Área agrícola _____

Objetivo de la Producción: autoconsumo familiar ___ acopio ___ mercado agropecuario ___

Otras (especificar) _____ (expresarlo en % aproximado del destino)

Fuerza Laboral: Total _____ Hombres _____ Mujeres _____

Labor que realizan: agrícola ___ Ganadera ___ Viveros ___ Frutales ___ Organopónico _____

Huerto _____ Hogar _____ Otras (especificar) _____

Núcleos familiares _____ Población Total _____

Cuántas personas viven del ingreso familiar _____

Cuántas personas trabajan fuera de las tierras de la familia _____

Ingresos personales promedio por persona por año o mes _____

Tipo de suelo _____

¿Cómo son sus suelos? Según apreciación de los productores.

Profundidad: Profundo () Poco profundo () No sabe ()

Estructura: Buena () Regular () Mala () No sabe ()

Textura: Arenoso () Limoso () Arcilloso () No sabe ()

Productividad : Buena () Regular () Mala () No sabe ()

Pedregosidad: Si () No () No sabe ()

Topografía: Llana () Ondulada () Montañosa () No sabe ()
)

Color: No sabe ()

Acidez: Si () No () No sabe ()

Salinidad: Si () No () No sabe ()

Baja retención de humedad Si () No () No sabe ()

Erosión o escurrimiento Baja () Media () Alta () No sabe ()

Para aumentar la fertilidad del suelo cuales de las siguientes técnicas se usan actualmente:

Uso actual de recursos:

Insumo	Cantidad aplicada (kg, qq, litros)	De donde proviene
Fertilizantes químicos		
Fertilizantes orgánicos		
Herbicidas químicos		
Plaguicidas químicos		
Bioplaguicidas		
Combustibles (¿Cuál?)		

Cuanto cuestan los insumos

- Fertilizantes químicos Caro () Medio () Barato () No sabe ()
- Fertilizantes orgánicos Caro () Medio () Barato () No sabe ()
- Herbicidas químicos Caro () Medio () Barato () No sabe ()
- Plaguicidas químicos Caro () Medio () Barato () No sabe ()
- Bioplaguicidas Caro () Medio () Barato () No sabe ()
- Combustibles gasolina Caro () Medio () Barato () No sabe ()
- Combustibles Diesel Caro () Medio () Barato () No sabe ()

Para aumentar los rendimientos ¿Qué medidas agrotécnicas faltan?

Calidad () y disponibilidad de la semilla (), Combustible para riego () y para maquinaria () implementos agrícolas () fertilizantes () Plaguicidas () Nuevas tecnologías alternativas ()

Mano de obra () Mas superficie (área) () Otras (especificar)

Para aumentar los rendimientos ¿Qué medidas no agrotécnicas faltan?

Información y consejo () Intercambio con otros productores () Disponibilidad de crédito ()
mejor precios de compra () Entrenamiento técnico () Entrenamiento en organización ()
Mejores incentivos para el productor () Mayor autocontrol de la producción () Otra (especificar)

¿Se utiliza la Rotación Si () No () y/o asociación si () No () de cultivos?

Cantidad y tipo de ganado : vacuno _____ Caballar _____ ovino/caprino _____ porcino _____
cunicula _____ aviar _____ otros (especificar) _____

Tipo de alimentos para animales: pastos Si () No () harinas y tortas Si () No () soya Si () No ()

girasol Si () No () maíz Si () No ()

otros _____ (especificar)

Externos _____ Producidos en la finca _____

Arborización: Si () No () Viveros Si () No () frutales Si () No () Forestales Si () No ()

Fertilización Si () No ()

	Tipo	Cantidad aplicada	Costo
Química			
Orgánica			

Implementos y equipos agrícolas (incluye tracción animal)

	Prep. suelo	Siembra	Cultivo	Cosecha	Transporte
Tractores					
Bueyes					
Camiones					
Manual					
Carretas					
Arado vertedera					
Arado discos					
Multiarado					
Surcador					
Grada discos					
Grada pinchos					
Tiller					
Sembradoras					
Escardadoras					

Asperjadoras					
Motomochilas					
Mochilas					
Cosechadoras					
Desgranadoras					
Molinos					
otros					

Que tipo de asistencia técnica reciben

Tipo	Si	No	De donde/ quien	Semanal	Mensual	Anual
Fertilidad de las plantas						
Plagas y enfermedades						
Semillas						
Riego						
Preparación del suelo						
Fitotecnia						
Procesamiento/comercialización						
Otra (especificar)						

A su entender, cuales son sus principales problemas, no mencionados anteriormente y que solución usted piensa que tengan.