



CAPÍTULO I

EVALUACIÓN DE AGROECOSISTEMAS FAMILIARES CAMPESINOS MEDIANTE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Jorge Armando Fonseca Carreño

Ingeniero agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Especialista en finanzas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. Especialista en evaluación pedagógica, Universidad Católica de Manizales. Magister en Ciencias agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Estudiante de Doctorado en Ciencias biológicas y ambientales, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC.

Edwin Manuel Páez Barón

Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Especialista en Sanidad animal, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales – UDCA. Magister en Ciencias Veterinarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Magister en Educación, UNAD Florida. Doctorado en Desarrollo sostenible, Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila, España.

Emma Sofía Corredor Camargo

Médico veterinario, Universidad Nacional de Colombia. Zootecnista, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Especialista en Sanidad animal, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales-UDCA. Magister en Desarrollo sostenible y Medio ambiente, Universidad de Manizales.

1.1. Resumen

La sustentabilidad es un criterio de la valoración de los agroecosistemas que implica que éste conserva sus condiciones, tal que su base biológica se mantiene fortalecida, su productividad estable y su componente social satisfecho. Para cumplir esta premisa se requiere que desde la política pública se propenda por la defensa de los sistemas de producción de base campesina, que la institucionalidad gubernamental faciliten mecanismos para el acceso a recursos tecnológicos y de capital que permita su inserción en los mercados y desde la academia, la sociedad civil y las organizaciones gremiales se generen estrategias para su fortalecimiento, en tal sentido la metodología MESMIS es una estructura cíclica multiescalar y flexible, basada en un enfoque participativo con visión interdisciplinaria aplicable en diversos contextos agropecuarios para evaluar la sustentabilidad de agroecosistema en las perspectivas económica, social y ambiental. Este documento hace

una rápida revisión de los conceptos que integran la metodología MESMIS y propone una estrategia para su implementación teniendo como punto de partida diversas experiencias de su aplicación en agroecosistemas campesinos de la región central de Boyacá (Colombia).

1.2. Introducción

Las actividades agropecuarias en general, tanto de producción comercial de alimentos de grandes conglomerados económicos, como la pequeña agricultura familiar campesina en sus diferentes manifestaciones, tienen como factor común y condicionante el acceso y la disponibilidad de la oferta ambiental (para otros autores Recursos naturales) los cuales constituye la base biológica sobre la cual se cimienta su desarrollo y productividad. Partiendo desde el concepto que, la oferta ambiental provee la energía suficiente para el normal desarrollo de las plantas. Dicha demanda energética aumenta considerablemente si se trata de un sistema intensivo de producción (monocultivos), tal que el medio no puede proveerla en la cantidad ni oportunidad requerida, necesitando aportes energéticos suplementarios externos y generalmente de origen sintético que procuran un importante aumento en los rendimientos del cultivo, cumpliendo temporalmente con las expectativas de productividad de los agricultores, pero con una importante carga en el aumento de los costos de producción. La frecuente incorporación de fuentes energéticas externas al sistema agrícola puede provocar desequilibrios asociados al deterioro de la condición inicial del agroecosistema, tales como: disminución de la fertilidad del suelo y compactación; contaminación de cuerpos de agua, disminución de recursos genéticos entre otros factores. Este modelo de producción agrícola emerge desde los postulados de la revolución verde, entendida, como el uso intensivo de recursos genéticos, moléculas químicas para el manejo fitosanitario de los cultivos y el desarrollo tecnológico de la mecanización de suelos y sistemas de riego; adelantos que procuraron el ostensible aumento de la producción agrícola en una de las épocas más críticas de provisión alimentaria para la humanidad (Fonseca *et al.*, 2018).

En contraposición a este modelo de revolución verde, han surgido no pocas corrientes y movimientos que procuran el desarrollo de sistemas agroalimentarios que generen menor impacto sobre la naturaleza (oferta ambiental), procurando el equilibrio ecosistémico, privilegiando las fuentes energéticas endógenas del agroecosistema, así como el uso de saberes y tradiciones ancestrales de la

comunidad rural, tal que se logre un balance energético que le permita ser estable y sostenible. Dichos sistemas de producción buscan la permanencia de familias rurales en actividades agropecuarias generando las condiciones básicas para su subsistencia, la seguridad alimentaria y la satisfacción de sus necesidades básicas. Pero tal vez, más que nuevas corrientes de producción agrícola, en las organizaciones sociales y académicas se ha fomentado la revalorización de los sistemas tradicionales campesinos, indígenas, raizales y afrodescendientes que por siglos han desarrollado actividades agroalimentarios bajo condiciones de sustentabilidad, tal es el caso de sistemas de producción de agricultura familiar campesina basados en conocimientos y técnicas tradicionales y/o ancestrales lo gran mantener el equilibrio dinámico de los sistemas agroalimentarios. Tales iniciativas han sido documentadas y sistematizadas por ciencias emergentes como la agroecología, que para algunos autores incorpora sistemas de producción, corrientes y movimientos como la agricultura orgánica, la biodinámica entre muchas otras, que tiene como elemento común el uso sostenible de los servicios de la biodiversidad y de los ecosistemas, la preservación de las especies nativas, amplia diversidad biológica, preservación de los saberes y la cultura local, el empoderamiento y la autogestión comunitaria entre otros aspectos.

Un agroecosistema sostenible posee múltiples características que lo estructuran y lo definen, y que, por supuesto le diferencia de otros agroecosistemas. Estos atributos están relacionados con la conservación de su oferta ambiental, el uso eficiente de fuentes energéticas, priorizando aquellas provenientes del mismo agroecosistema y caracterizadas por su bajo costo y bajo impacto, sin que ello implique disminuir los niveles de productividad. Igualmente, estos sistemas sostenibles privilegian el ciclaje de nutrientes, el uso de especies nativas o adaptadas al medio, aumentando la eficiencia energética y por lo tanto la rentabilidad financiera que integrada a circuitos económicos locales permite el crecimiento solidario y económico de la población. La presencia e interacción de los anteriores y otros atributos constituyen en menor o mayor grado la sustentabilidad de un agroecosistema, lo cual implica, la necesidad de identificar y evaluar dicha presencia e interacción, es decir, determinar su nivel o grado de sustentabilidad.

En el contexto agrario es necesario integrar y materializar el concepto de sustentabilidad mediante la aplicación de diversas metodologías de evaluación cuyos lineamientos permitan identificar y evaluar los factores intervinientes y su nivel de interacción, ya que algunos esfuerzos para evaluación de sustentabilidad se

han concentrado únicamente en la construcción de grupos de indicadores, mientras que, por el contrario la tendencia es diseñar marcos metodológicos para la construcción indicadores para evaluar la sustentabilidad.

Para lo anterior, se han diseñado diversas herramientas metodológicas que permiten evaluar la sustentabilidad ambiental y socio-económica de los sistemas, lo anterior requiere de herramientas robustas que valoren su diversidad y complejidad. Para valorar la sustentabilidad de agroecosistemas y en general de los sistemas agrarios se ha usado en diversos contextos y sistemas productivos el “Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)”, dicha herramienta permite evaluar integralmente los sistemas agrarios, pues incluye aspectos sociales, económicos y culturales, además de los eminentemente tecnológicos.

1.3. Uso de indicadores e índices para evaluar sustentabilidad

Tal como lo ha planteado la CEPAL para diferentes ámbitos, en especial en aspectos ambientales de América Latina, la sustentabilidad ha cobrado mayor importancia en la medida que son crecientes los efectos sociales y ecológicos de la implementación de estrategias y técnicas equivocadas que en principios buscaban ofrecer soluciones a los problemas apremiantes de sociedad. Igual situación se presenta en aspectos sociales, ecológicos y ambientales de la actividad agropecuaria, ya que los retos que se enfrentan cada vez son mayores. Lo requiere anterior además de los retos sociales y tecnológicos que ello implica, la necesidad de desarrollar herramientas y estrategias para construir y monitorear políticas públicas para el sector agropecuario que permitan atender de forma prioritaria las necesidades del sector. El éxito de dicho proceso depende entre otros factores, de contar con información veraz y oportuna, ordenada, jerarquizada y disponible de variables decisivas de determinada actividad y su interacción con dinámicas ambientales, ecológicas, productivas, sociales y económicas entre otras, medidas mediante diferentes indicadores.

En este sentido según la CEPAL (2009), los indicadores se consideran una estadística que sintetiza el comportamiento de fenómenos que son de interés y cuyo análisis resulta importante con propósitos de intervención. Dichos indicadores se construyen a partir de su necesidad y oportunidad para evaluar el comportamiento de determinado fenómeno, así como su aporte a un sistema complejo de

indicadores, en tal sentido, el indicador pretende mostrar el estado, la evolución y la dinámica o tendencias mediante formas de agregación, proporciones, tasa de crecimiento, y contrastes entre otros; es importante garantizar la calidad y disponibilidad de la información, tal que su adecuado procesamiento (en la construcción del indicador) conforme una estadística con capacidad para mostrar el comportamiento y las interacciones de un determinado fenómeno. Lo anterior implica que un indicador representa una estadística que contiene información seleccionada que explica o muestra las particularidades del fenómeno estudiado y que su forma sintética es comprendida y aceptada por los usuarios.

En este sentido Eber y Welsch (2003), afirman que los indicadores simples están constituidos por la combinación de dos o más datos, los cuales a su vez pueden ser combinados con otros indicadores, que mediante funciones matemáticas o estadísticas de síntesis darán origen a los indicadores sintéticos o índices. Estos índices constituyen un nivel superior de análisis que a manera de herramienta cuantitativa muestra de forma simplificada los atributos de las variables que intervienen en determinado fenómeno, sin olvidar que, si bien proporciona mayor información, no da total explicación de las interacciones entre los factores que allí intervienen.

Para la construcción de los indicadores sintéticos o índices existen diversas metodologías en función al tipo de índice que se desee obtener y al contexto donde este se ha de aplicar. Domínguez *et al.*, (2011) afirma que se puede construir mediante los siguientes métodos:

1.3.1. Agregación de indicadores simples

Está basado en las proyecciones lineales unidimensionales con las cuales construyen medias ponderadas, las agregaciones y ponderación se hacen vinculando una serie de variables sucesivas que constituyen los subindicadores cuya característica común es que las unidades de medida (con los cuales se conforma el índice) debe ser la misma.

La metodología comúnmente usada es asignar a los subindicadores el mismo peso, es decir el mismo valor relativo, agregándolo mediante una suma, con lo cual se crea el índice o indicador sintético. Un limitante que se debe considerar en el método de agregación de indicadores simples es que cuando los indicadores se subdividen por dimensiones para realizar las agregaciones suele ocurrir que el

peso otorgado a cada indicador no sea igualitario. De la misma forma el método no contempla la forma de identificar las relaciones de causalidad existentes entre los subindicadores, que a la postre pueden generar inconvenientes dado que ante la incorporación de variables altamente correlacionadas se estaría contabilizando su efecto por partida doble. Así, el indicador para una unidad i se define como:

$$IS_t = w \cdot IN_{i1} + w \cdot IN_{i2} + \dots + w \cdot IN_{im} = \sum_{j=1}^m w \cdot IN_{ij}$$

Donde:

w es el peso de los indicadores

IN_{ij} es el valor normalizado del indicador j para la unidad i .

1.3.2. Construcción participativa de indicadores

Consiste en la construcción mediante valoración cuantitativa ponderada de juicios de individuos expertos en un determinado tema quienes asignan valores subjetivos. Para la valoración de un tema, el experto cuenta con una bolsa limitada de puntos para ser distribuidos entre los indicadores que hacen parte del sistema evaluado de acuerdo con su juicio de valor, donde obtiene más puntos aquello que considera de mayor importancia. El valor del indicador es la puntuación media otorgada a cada indicador por el grupo de expertos. El indicador sintético se obtiene a partir de sumatoria de las ponderaciones de los indicadores del sistema. Las limitantes de este método refieren a la confiabilidad en las valoraciones de los expertos en razón a la disímil experticia de cada individuo lo cual le hace abordar su valoración desde una perspectiva diferente (Sajeva *et al.*, 2005). Los métodos participativos más conocidos y de mayor uso son: el Método de opinión pública y Panel de expertos (Cottrell *et al.*, 2004; Tsaur *et al.*, 2006; Ugwu *et al.*, 2006). En estos métodos las ponderaciones se obtienen a partir del promedio de la puntuación de los participantes en el panel, de tal forma que el indicador I_j está dado por:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{s=1}^m q_s}$$

Donde:

w_j : es el peso final asignado al indicador I_j

q_j : es la puntuación media del indicador I_j

q_s : es la puntuación media dada al indicador I_s de la dimensión s .

1.3.3. Construcción de indicadores mediante de análisis multivariante

Está basado en la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes para la obtención de indicadores sintéticos, es posible afirmar que entre sus múltiples fortalezas este método no hace doble valoración de información (como en los métodos anteriores) y asigna valores concretos a las ponderaciones. Dentro de este método se destacan las siguientes técnicas:

- Análisis de componentes principales.
- Análisis factorial.
- Escalamiento óptimo.
- Análisis de conjunto.

1.3.3.1. Análisis de componentes principales (ACP)

Se define como el procedimiento que se hace a un conjunto de datos para reducir su dimensionalidad, de tal forma que queden mejor representados en mediante mínimos cuadrados, es decir transforma los datos de variables correlacionadas en grupos de valores o datos de variables que no poseen correlación lineal, tratando de explicar el mayor porcentaje posible de variabilidad con menor cantidad de variables, a lo cual se le denomina Componentes principales. En este sentido el uso del ACP se usa para obtener indicadores sintéticos que contiene la máxima información posible de valores iniciales de indicadores. El uso del ACP en un indicador o un grupo de ellos, genera nuevas variables (componentes principales) no correlacionadas, de varianza máxima y media aritmética cero. Su aplicación requiere que exista correlación entre los indicadores previamente normalizados es decir que estos se expresen en las mismas unidades.

Así: la componente h para (Z_h) está definida de la siguiente forma:

$$Z_h = \sum_{j=1}^m \omega_{hj} \cdot IN_j$$

Donde:

ω_{hj} : ponderación de la componente principal h

1.3.3.2. Análisis factorial

Es la segunda técnica del método multivariante la cual al igual que el ACP reduce número de variables mediante las cuales se expresa o hacen parte de un determinado fenómeno. A diferencia del ACP esta técnica busca identificar relaciones matemáticas que expresan las variables iniciales a través de factores comunes y

factores específicos. En síntesis, el Análisis factorial tiene como objetivo encontrar variables sintéticas “latentes” que no son fácilmente observables ni medibles que se sospecha existen en las variables originales. En el Análisis factorial solo parte de la varianza de las variables originales es explicada por variables cuya combinación lineal la determinan los factores comunes denominada *comunalidad*, así mismo, parte de la varianza que no se explica por los factores comunes se denomina *unicidad*, las cuales representan parte de la variabilidad de cada variable (*comunalidad + unicidad = 1*). De tal forma que construir de un índice a partir de un sistema de indicadores puede realizarse mediante su reducción a un grupo de factores básicos o indicadores iniciales.

Sean X_1, X_2, \dots, X_p Los subindicadores iniciales referidos a un conjunto n , se puede expresar en el siguiente modelo:

$$X_1 = w_{11} F_1 + w_{12} F_2 + \dots + w_{1k} F_k + u_1$$

$$X_2 = w_{21} F_1 + w_{22} F_2 + \dots + w_{2k} F_k + u_2$$

$$X_p = w_{p1} F_1 + w_{p2} F_2 + \dots + w_{pk} F_k + u_p$$

Donde:

$F_{1..k}$: se definen como los factores comunes en los que quedarán representados (reducidos) los valores inicialmente planteados.

u_1, \dots, u_p : Características específicas de cada variable.

$\{w_{ij}; i=1, \dots, p; j=1, \dots, k\}$: coeficientes de las cargas factoriales.

Con lo anterior es posible afirmar que el análisis de componentes principales (ACP) genera los factores comunes mediante el análisis factorial, que estarían constituidas por las componentes principales tipificadas (Domínguez *et al.*, 2011).

1.3.3.3. Escalamiento óptimo

También llamado análisis de componentes principales categóricos por escalamiento óptimo o ACP por mínimos cuadrados alternante o no métrico. Esta técnica permite hacer un análisis de variables categóricas o cualitativas las cuales se pueden cuantificar a partir de una matriz de similaridad y disimilaridad entre los pares de n objetos (Gower y Digby, 1981; Domínguez *et al.*, 2011). El ACP no lineales transforma las variables originales asignado valores a las categorías de cada una de las variables para posteriormente analizar la estructura de sus

datos. La técnica consiste en la valoración de las variables cualitativas, maximizando la correlación lineal entre las variables, transformado así las variables cualitativas en variables cuantitativas, determinado así la mejor combinación lineal de las variables con lo cual se facilita la construcción de modelos de regresión. La técnica genera un conjunto de cuantificaciones para las categorías de cada variable (puntuaciones óptimas) pasando de valores cualitativos a valores métricos los cuales se obtienen minimizando la distancia entre categorías relacionadas y maximizando la distancia entre las no relacionadas (Domínguez *et al.*, 2011; Tapia, 2007).

El algoritmo de optimización para una matriz de pérdida H de dimensión $(n \times m)$ se expresa de la siguiente forma:

$$\sigma(X, A) \equiv SSQ(H - XH')$$

Dónde: X es una matriz $(n \times p)$ de rango p , A es una matriz de dimensión $(m \times p)$ y $SSQ(.)$ es la suma de cuadrados de los elementos de la matriz $(.)$. Las matrices X y A se encuentran calculando los valores singulares de H por el método de mínimos cuadrados se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma(x, a) \equiv m^{-1} \sum_j SSQ(x - a_j h_j) = m^{-1} \sum_j tr((x - a_j h_j)' (x - a_j h_j))$$

Además de las técnicas anteriormente descritas, es frecuente que se usen otras técnicas estadísticas para la construcción de indicadores e índices, tales como: (1) Indicadores basados en distancias y (2) Técnicas de análisis multicriterio, las cuales mejoran tanto el análisis de datos como la toma acertada de decisiones sobre diversos campos.

En este sentido la construcción de indicadores se ha convertido en prioridad por parte de entes gubernamentales y académicos tal que es vital analizar el desempeño y eficiencia de diversos programas de acción, el cumplimiento de los objetivos de la política pública, y la planeación del desarrollo, entre otros aspectos. Para el caso del sector agropecuarios y por los consabidos impactos generados al ambiente, han ganado importancia diversas herramientas metodológicas que dan cuenta de las externalidades del modelo de producción agropecuaria, así como sus efectos en el cumplimiento de los objetivos de sustentabilidad ecológica, social y ambiental.

A partir de la amplia preocupación de la sociedad global y en especial de los técnicos y académicos del sector agropecuario, se ha trabajado sobre la necesidad de determinar herramientas que permitan evaluar el grado de impacto de las externalidades de la actividad agropecuaria que se manifiesta como el conjunto de condiciones que disminuyen la capacidad de los agroecosistemas por mantenerse en equilibrio, tal que esta condición es evaluada como el nivel de sustentabilidad, la cual determina de forma considerable la permanencia de los agricultores en labores del campo (Fonseca *et al.*, 2012).

El concepto de sustentabilidad ha tenido amplia atención y su definición es diversa tanto como autores la han abordado; desde el punto de vista agropecuario se le considera como la medida de la habilidad de un agroecosistema para mantenerse productivo en el tiempo a pesar de restricciones ecológicas, climáticas y tecnológicas, entre otros aspectos (Quiroz *et al.*, 2014). De tal forma que medir la sustentabilidad de los ecosistemas cobra especial relevancia ya que permite confirmar que un determinado modelo (sistema de producción) es una alternativa viable desde la perspectiva tecnológica, ecológica, social y financiero.

Existen diversos métodos para tal fin, el primero es la evaluación “*per se*” la cual busca identificar al interior de un agroecosistema si las acciones allí realizadas generan algún grado de sustentabilidad, basándose en la experiencia del examinador. Un segundo método es la Evaluación comparativa la cual se basa en un análisis *ex ante* y *ex post* comparando dos o más sistemas, identificando prácticas agrícolas y/o pecuarias pasadas versus las futuras en una dinámica retrospectiva y prospectiva.

Como se ha mencionado anteriormente los indicadores son una herramienta para comprender la dinámica de un agroecosistema y por lo tanto medir el nivel de sustentabilidad e identificar sus puntos críticos, en la medida que estos agroecosistemas son complejos la selección de indicadores debe ser tal que permita la simplificación de la realidad.

Entre otros aspectos los indicadores usados para determinar la sustentabilidad de agroecosistemas deben tener las siguientes características: Que su construcción esté relacionada y provenga de los atributos de la sustentabilidad, tal que su especificidad este dada por su facilidad de aplicación en un contexto único y determinado, y le permita registrar los cambios en el transcurso del tiempo; de la

misma forma se deben caracterizar por ser directos, de fácil recolección, fáciles de interpretar, de características universales pero ajustados a las condiciones de un aspecto en particular.

1.4. Evaluación de sustentabilidad de agroecosistemas familiares campesinos mediante el MESMIS

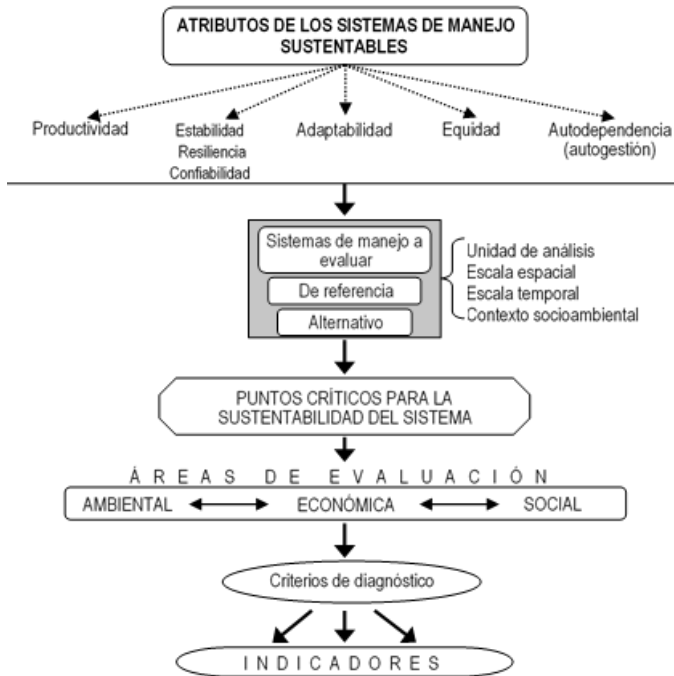
La metodología denominada Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS), aparece en 1995 con el propósito de evaluar la sustentabilidad de proyectos productivos que integraban la red de Manejo de recursos naturales. Fue creado por un grupo interdisciplinario y multi-institucional de México, con el fin de plasmar los principios generales de la sustentabilidad en las definiciones operativas, indicadores y prácticas que pudieran aplicarse a los agroecosistemas en particular, pero a las comunidades rurales en general (López-Ridaura, Masera, y Astier, 2002).

MESMIS propone una estructura cíclica multi-escalar y flexible, con una orientación práctica basada en un enfoque participativo entre quienes intervienen en el proceso evaluativo del agroecosistema. Además, ofrece una visión amplia e interdisciplinaria sobre las potencialidades y aspectos que limitan los procesos de evaluación de sustentabilidad. Además de lo anterior establece los lineamientos para hacer la comparación entre diversos sistemas de manejo tradicionales (frecuentemente basados en técnicas de revolución verde) y sistemas agropecuarios alternativos. El método es aplicable en diversos contextos agropecuarios y muestra de manera integral, límites y oportunidades de sustentabilidad del sistema en las perspectivas económicas, sociales y ambientales (Masera, Astier, y López-Ridaura, 2000).

La evaluación de sustentabilidad de agroecosistemas requiere la identificación de los atributos generales que este posee, entendidos como el conjunto de condiciones ecológicas, ambientales, tecnológica y socio económicas que permiten su estabilidad y funcionamiento, así como aquellas que expresan los resultados de los procesos biológicos que allí se llevan a cabo. En el mismo sentido diversos autores aquí citados recomiendan estructurar un marco de referencia que permite la identificación y construcción de un grupo de indicadores con los cuales se evalúe la sustentabilidad de los agroecosistemas. Para el caso de los agroecosistemas familiares campesinos se procede de conformidad como lo establece el MESMIS, identificando los atributos a partir de sus propiedades ecosistémicas.

Los siguientes son los atributos que son considerados por el MESMIS para la evaluación de sustentabilidad.

Figura 1. Esquema general del Mesmis.



Fuente: Masera, Astier, y López-Ridaura, 2000.

1. **Atributo productividad.** Se considera la capacidad del agroecosistema para la provisión de bienes y servicios necesarios para mantener en condiciones adecuada a los integrantes del núcleo familiar que allí residen.
2. **Atributo equidad.** Se entiende como la condición que permite la participación de los integrantes del agroecosistema en la toma de decisiones, así como la distribución de responsabilidades y beneficios relacionados con el quehacer agropecuario y rural.
3. **Atributo estabilidad.** Refiere la capacidad del agroecosistema para mantenerse en condición productiva estable durante largos periodos a pesar de estar sometido a condiciones y factores variables, tal como condiciones climáticas, fuerzas de mercado y variaciones en la disponibilidad de recursos tanto financieros, tecnológicos y disponibilidad de mano de obra, entre otros aspectos.

4. **Atributo resiliencia.** Se considera como la capacidad de origen ecosistémico que le permite retornar a un estado de equilibrio inicial luego de sufrir un disturbio o perturbación de origen interno o externo, tal como variaciones drásticas en el clima, presiones originados en los precios de mercado, entre otros aspectos. De la misma forma se puede afirmar que la resiliencia es una propiedad de tipo sociocultural, definida como la capacidad que posee los integrantes del agroecosistema para adaptarse a condiciones cambiantes tanto de orden climático, social y ambiental.
5. **Atributo Confiabilidad.** Para los agroecosistemas se entiende la confiabilidad como la propiedad que este posee para mantener las interacciones de sus componentes tal que su capacidad de respuesta ante un evento adverso le induce a la autorregulación, en otras palabras, un agroecosistema es confiable si es poco frecuente que sea modificado por perturbaciones del ambiente, la confiabilidad es mayor cuando tanto la frecuencia como la intensidad de eventos perturbadores disminuyen. Es posible afirmar que la confiabilidad está íntimamente relacionada con la “resiliencia ingenieril” que se define como la velocidad con la cual un ecosistema vuelve a su estado de equilibrio luego de un disturbio, luego a mayor velocidad, mayor confiabilidad.
6. **Atributo Adaptabilidad.** Un sistema se considera adaptable cuando tiene la capacidad de hacer ajustes internos (en el sistema de producción) que le permiten buscar nuevos equilibrios luego de recibir una perturbación irreversible, luego esta capacidad de auto ajuste es frecuente en aquellos agroecosistemas que tienen amplia diversidad, ya que pueden lograr diversos equilibrios desde lo biológico, ecosistémico y socio cultural.
7. **Atributo Autodependencia.** Se refiere a la capacidad del agroecosistema para proveerse en alto grado los insumos, procesos y recursos que le permiten desarrollar plenamente su estructura y funcionamiento, es decir, un agroecosistema es autodependiente cuando la generación de materia y energía en alto porcentaje está soportada por las interacciones e interdependencias internas, y muy poco de fuentes energéticas externas (Astier y González, 2008).

Teniendo como base fundamental la definición e identificación de los anteriores criterios, la metodología MESMIS propone un ciclo de evaluación del agroecosistema que comprende los siguientes seis pasos a saber:

- 1. Identificación y caracterización del agroecosistema:** comprende entre otros aspectos las siguientes actividades: a) identificar el o los sistemas de manejo que se van a analizar; b) caracterizar el sistema de manejo de referencia; c) caracterizar el sistema alternativo. Esta caracterización se realiza identificando los aspectos del sistema de gestión y su contexto socio-económico y ambiental.

El sistema MESMIS se basa fundamentalmente en un proceso comparativo entre agroecosistemas, es decir, la evaluación de sustentabilidad está basada en la comparación que se hace con otros agroecosistemas y/o condiciones preestablecidas en la región que le sirven como referente estándar. Dicha evaluación de sustentabilidad incluye aspectos técnicos, sociales y ecosistémicos propios de la zona de influencia. La contrastación cobra vigencia cuando dentro del agroecosistema que se desea evaluar (alternativo) se introducen innovaciones o ajustes tecnológicos, sociales etc. que se presume mejoran los indicadores de desempeño con respecto al sistema que se ha tomado como referente regional.

Para lo anterior, se realiza mediante un proceso metodológico que posteriormente se describe, la evaluación de sustentabilidad tanto para el sistema de referencia como para el sistema alternativo. En este aspecto se consideran dos tipos de evaluación de sustentabilidad a saber: Evaluación longitudinal y Evaluación transversal. Para el primer tipo se considera la comparación del agroecosistema durante un periodo de tiempo (varios años o ciclos de cosecha), para lo cual se define como el “sistema de referencia”, comparando sus resultados con los obtenidos en la temporada siguiente que para este efecto se consideraría el “sistema alternativo”. Un aspecto de especial atención en este primer paso es la descripción y caracterización del agroecosistema que incluyen entre otros aspectos: los cultivos, actividades pecuarias, las prácticas de manejo, insumos agropecuarios, productos que se generan dentro del agroecosistema, además de los principales aspectos socioeconómicos de la familia rural, así como su nivel de organización social.

- 2. Identificación de los puntos críticos del agroecosistema:** se realiza mediante un análisis del desempeño de las actividades productivas, en donde se identifican aspectos que son limitantes, y cuya persistencia

pone en riesgo su permanencia productiva, se identifican dichos aspectos mediante la valoración (cualitativa y/o cuantitativa) de diferentes variables que a juicio de los mismo agricultores y asistentes técnicos presente condiciones vulnerables, así como aquellas que representan su principal fortaleza, lo anterior resulta definitivo para obtener resultados de alto valor en la evaluación. Una vez identificados los puntos críticos del agroecosistema, se deben correlacionar con los atributos de sustentabilidad previamente identificados.

- 3. Identificación de criterios de diagnóstico e indicadores.** Una vez identificados los atributos de sustentabilidad del agroecosistema (productividad, estabilidad, resistencia, fiabilidad, capacidad de adaptación, equidad y autogestión), a cada uno de ellos se asocia una cantidad variable de Criterios de diagnóstico, los cuales se definen como los atributos o parámetro mediante la cual se mide una determinada condición, para este caso de sustentabilidad del agroecosistema, los criterios son eminentemente descriptivos y muestran las condiciones o fortalezas (atributos) del agroecosistema, a su vez estos criterios se evalúan mediante indicadores de sustentabilidad, los cuales deben ser robusto y suficientemente amplios para cumplir con las diferentes dimensiones o áreas de evaluación: social, económica y ambiental. El siguiente cuadro muestra la relación entre los atributos de sustentabilidad, los criterios de diagnóstico y los indicadores (Astier *et al.*, 2012).

Tabla 1. Interacción entre Atributos de sustentabilidad, criterios de diagnóstico e indicadores.

Atributo	Criterios de diagnóstico	Indicadores	Áreas de evaluación
Productividad	Eficiencia	Rendimiento agrícola, eficiencia energética del agroecosistema	A
		Relación beneficio/costo, inversión financiera, rentabilidad,	E
Estabilidad: resiliencia; confiabilidad	Diversidad	Especies alimentarias, arreglos productivos, sistemas de rotación	A
		Número de cultivos; grado de integración en la producción y comercialización	E
		Número de etnias involucradas en el manejo de recursos	S
	Conservación de recursos	Calidad de suelo y agua	A
		Relación entre entradas y salidas de nutrientes críticos	A
		Número de variedades criollas utilizadas	A
	Fragilidad del sistema	Capacidad de ahorro	E
		Incidencia de plagas y enfermedades	A
		Tendencias y variación de rendimientos	E
	Distribución de riesgos	Acceso a créditos, seguros u otros mecanismos	E
Calidad de vida	Índices de calidad de vida	S	
Adaptabilidad	Fortalecimiento del proceso de aprendizaje	Capacitación y formación de los integrantes	S
	Capacidad de cambio e innovación	Adaptaciones locales a los sistemas propuestos	S
		Evolución del número de productores por sistema	S
		Generación de conocimientos y prácticas	S
Equidad	Distribución de costos y beneficios	Número de beneficiarios según etnias, género o grupo social	S
	Evolución del empleo	Demanda o desplazamiento de trabajo	E
Autodependencia (autogestión)	Participación	Implicación de los beneficiarios en las distintas fases del proyecto	S
	Autosuficiencia	Grado de dependencia en insumos externos críticos	A
		Nivel de autofinanciamiento	E
	Control	Reconocimiento de los derechos de propiedad (individuales o colectivos)	S
		Uso de conocimientos y habilidades locales	S
		Poder de decisión sobre aspectos críticos del funcionamiento del sistema	S
Organización	Tipo, estructura, proceso de toma de decisiones	S	

Fuente: Masera, Astier, y López-Ridaura, 2000.

Para construir de forma acertada los indicadores de sustentabilidad del agroecosistema MESMIS propone seguir cinco fases metodológicas:

- Identificar los atributos generales de sustentabilidad del agroecosistema.
- Definir los puntos críticos del agroecosistema.
- Identificar los criterios de diagnóstico que permitan valorar los puntos críticos previamente definidos.
- Se construye un batería de indicadores que responde a los criterios identificados.
- Se construye el conjunto de indicadores estratégicos (ambientales, económicos y sociales).

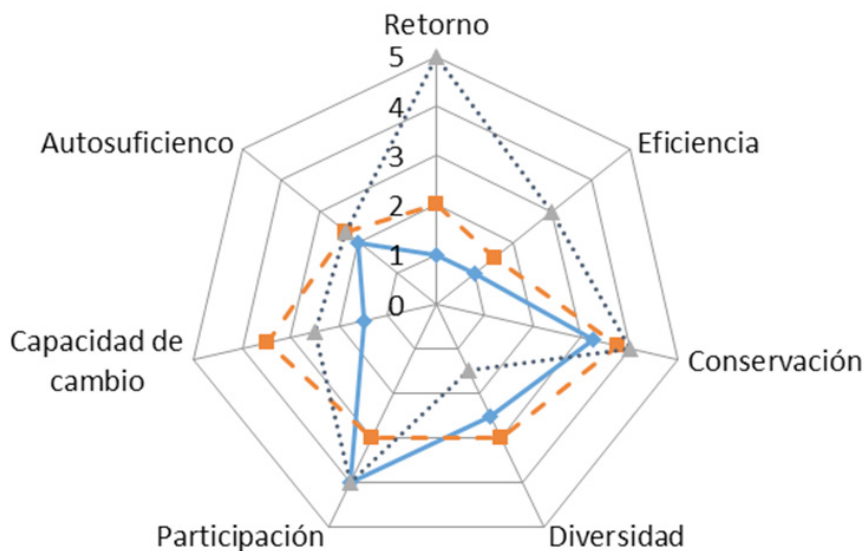
- 4. Medición y seguimiento de indicadores:** Como siguiente paso en el ciclo de evaluación del agroecosistema se hace la toma y análisis de datos de los aspectos evaluados mediante los indicadores propuestos anteriormente, lo cual supone que se haga en periodos y frecuencias preestablecidas (dependiendo del ciclo biológico del cultivo, las épocas de siembra y cosecha, las temporadas de establecimiento de labores pecuarias etc.), evaluaciones repetidas de aspectos productivos, modelaje de variables, entre otros aspectos. Lo anterior se realiza haciendo uso de algunos métodos de captura de información entre los cuales se pueden mencionar los siguientes: a) Revisión bibliográfica para determinar parámetros productivos regionales y locales; b) Mediciones directas de variables productivas; c) Montaje de parcelas experimentación o monitoreo; d) Diseño de modelos de simulación de variables; e) Formularios tipo encuesta para levantamiento de información; f) Visitas de inmersión con la familia rural; g) Uso de dinámicas grupal de participación; h) Cartografía social.

- 5. Generación y análisis de resultados:** Finalmente se procede a consolidar y analizar los resultados de los criterios de evaluación medidos con los indicadores, esta fase es vital importancia ya que de la precisión y veracidad de la información obtenida dependerá las acciones de mejora que se implementarán en el agroecosistema. Metodológicamente se debe trabaja con indicadores sintéticos que condensen información de diversos aspectos que no es fácilmente agregable. Las principales limitantes a superar en este paso es eliminar el sesgo en la elección de los criterios, o que estos tengan datos de difícil medición, igualmente es importante mantener la interrelación en la escala jerárquica y ordenada de Atributos de sustentabilidad, Criterios de diagnóstico e indicadores. Estos resultados se pueden expresar mediante técnicas o valores cualitativos, cuantitativos, gráficos descriptivos .

Las técnicas cuantitativas y cualitativas requieren una fuerte base estadística en la construcción y análisis de los indicadores, para ello se sugiere que se use el método de construcción multivariante, los cuales pueden capturar información sobre el estado actual y el desarrollo de los agroecosistemas. Las técnicas gráficas y en algunos casos las cualitativas usan esquemas de radar o ameba para presentar sus resultados, haciendo una representación de las diferencias en los aspectos evaluados mediante diferentes distancias

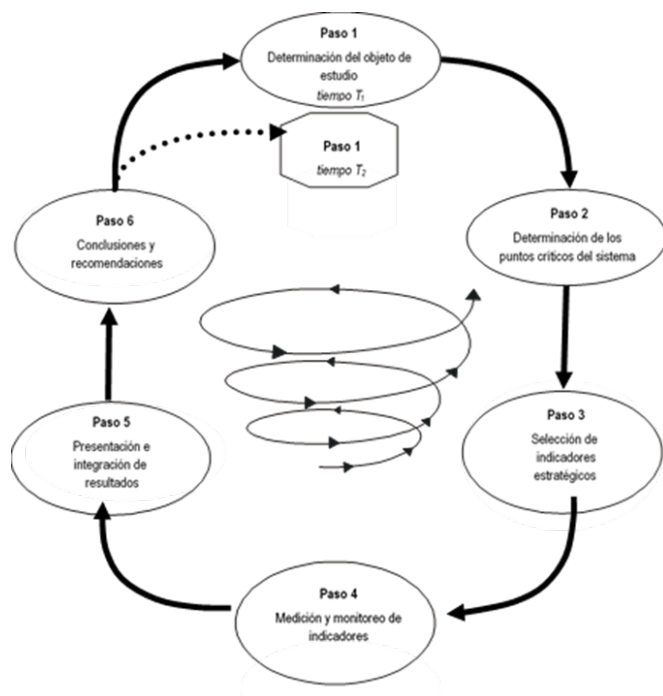
respecto de un valor de referencia (López-Ridaura, Masera, Y Astier, 2000). El gráfico de radar permite representar y al mismo tiempo analizar el comportamiento de cada factor o sistema evaluado, obteniendo así una visión global del comportamiento del agroecosistema, de la misma forma de manera cuantitativa permite determinar el nivel de los indicadores evaluados y contrastarlos con los que presentan los otros agroecosistemas. A través de esta herramienta es posible visualizar los niveles de desempeño de los agroecosistemas, allí se aprecia la brecha entre los niveles de referencia internacional, nacional y local. En este trabajo se usaron los denominados radares absolutos, donde se asume la práctica ideal del sector con una puntuación de cinco (5), a partir de la cual se contrastó con la mejor práctica realizada en los agroecosistemas, sin hacer ningún tipo de modificación de los valores obtenidos y su contraste con la considerada práctica ideal (Fonseca, Cleves y Páez, 2013).

Figura 2. Esquemas de radar para la presentación de resultados.



Fuente: Fonseca, Cleves y Páez, 2013.

6. Conclusiones y recomendaciones del agroecosistema. Para finalizar el ciclo de evaluación del agroecosistema, el cual es quizá uno de los momentos más importante de este proceso, pues se evidencian los alcances logrados en la valoración del estado del agroecosistema. De la misma forma dicha valoración será primordial para planear las estrategias y recomendaciones para el sistema de manejo dentro del agroecosistema. Los expertos recomiendan que el resultado de un primer proceso de evaluación no sea más que la línea base a partir de la cual se dará inicio a un nuevo proceso que permita evidenciar la evolución en el tiempo de los ajustes planteados, es decir el modelo adquiere una nueva propiedad en la medida que permite obtener información de las dinámicas ecológicas, sociales, culturales y económicas de los agroecosistemas. Un aspecto relevante de MESMIS es que por su virtud de involucrar diversos aspectos factores y actores que intervienen en los sistemas productivos es altamente incluyente, por lo que dentro del proceso de evaluación de dichas condiciones se debe dar amplia participación de integrantes de la familia, técnicos e investigadores y todos aquellos que tengan relación con este proceso (incluyendo agentes externos como proveedores y la cadena de comercialización, entre otros). Igualmente, en esta fase de evaluación y como resultado del proceso adelantado se deberán generar las conclusiones sobre el estado de los agroecosistemas (los sistemas de manejo), como producto de la valoración de los indicadores sintéticos anteriormente mencionados. Fundamentalmente se logrará identificar el nivel o grado de sustentabilidad del “sistema alternativo” comparado con el “sistema tradicional”. La valoración de las causas de dichos resultados resulta muy importante para agricultores y técnicos, ya que luego de un análisis reflexivo sobre el desempeño del agroecosistema, se lograría al menos identificar los factores y condiciones que subyacen y condicionan dicho desempeño, lo cual es el inicio de las estrategias de mejora de la sustentabilidad del sistema alternativo con respecto al de referencia (Astier *et al.*, 2012).

Figura 3. Ciclo de evaluación en MESMIS.

Fuente: Masera, Astier, y López-Ridaura, 2000.

1.5. Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas familiares campesinos mediante MESMIS

A continuación, se presenta el proceso metodológico para la implementación de la evaluación de sustentabilidad de agroecosistemas campesinos mediante la metodología MESMIS, este capítulo es el resultado de la experiencia del grupo de investigación en sistemas sostenibles de producción GIGASS de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD de Colombia.

En los siguientes apartes se integran algunos resultados de la evaluación de sustentabilidad de agroecosistemas campesinos y de páramo de la zona central del departamento de Boyacá. Si bien el objetivo no es mostrar la totalidad de los resultados obtenidos en estos trabajos, el documento se centrará en el proceso metodológico de la selección de los agroecosistemas, la estructuración de los indicadores, captura, procesamiento y análisis de la información mediante indicadores sintéticos o índices.

La primera actividad fue la identificación de las organizaciones de campesinos en tres municipios del Departamento de Boyacá, en cada uno de los cuales se seleccionó por conveniencia diez agroecosistemas (fincas campesinas) con las cuales se realizó una caracterización inicial de aspectos tecnológicos, sociales y ambientales. La caracterización permitió identificar los agroecosistemas “tipo”, es decir aquellos que por mayor similitud en aspectos ecológicos, sociales, ambientales y tecnológicos con otros agroecosistemas pueden ser identificados como un grupo homogéneo. Para la identificación de estos agroecosistemas “tipo” se evaluaron indicadores relacionados con la calidad de vida, biodiversidad del agroecosistema y cohesión familiar. Para el primer indicador se abordaron los siguientes aspectos:

- Tipo de tenencia de la tierra (propietario, arrendatario, aparcerero etc.).
- Disponibilidad de servicios públicos.
- Disponibilidad y calidad de vías de acceso.
- Disponibilidad y calidad de agua para consumo humano.
- Condiciones y materiales de la vivienda.
- Dotación de electrodomésticos.

Para el indicador biodiversidad se realizó un inventario de la cantidad de especies tanto agrícolas, pecuarias y forestales, con lo cual se construye el indicador de nivel de biodiversidad de los agroecosistemas. Es importante mencionar que esta actividad se realiza junto con los integrantes del núcleo familiar campesino mediante la herramienta metodológica denominado “Mapa de biodiversidad” que propone Geilfus, 1997.

Para identificar el nivel de cohesión familiar se construye un indicador que involucra características del núcleo familiar, sus integrantes, roles y actividades que desempeñan y su permanencia en las actividades agropecuarias, el indicador contempla los siguientes aspectos.

- Rurales entre las cuales se destacan:
- Organización del núcleo familiar.
- Roles en la actividad agropecuaria.
- Percepción de la estabilidad financiera.
- Niveles migratorios de integrantes del núcleo familiar (últimos 10 años).

Para la estimación de los indicadores se construyó una escala de valoración donde uno (1) representa la condición menos deseable o perjudicial y (5) cinco la mejor condición posible o mejor práctica realizada, con esta escala se estableció el desempeño de los indicadores para los 30 agroecosistemas evaluados. Luego del proceso de caracterización se hace a manera de tipificación la organización de tres grupos, cada uno con características similares de desempeño. De cada grupo “tipificado” se seleccionó un agroecosistema representativo “agroecosistema tipo”, con el cual se continúa el desarrollo de la investigación. Una vez identificados los “agroecosistemas tipo” se inicia la aplicación del MISMIS siguiendo los pasos metodológicos propuestos por Astier, Masera y otros autores (Masera *et al.*, 1999).

El segundo paso consiste en la Identificación de los puntos críticos de los “agroecosistemas tipo” los cuales surgen desde la interacción y el consenso del núcleo familiar en cada agroecosistema, los asistentes técnicos presentes en la zona y el equipo de investigación. La metodología para su identificación consistió en la realización de sendos talleres para la identificación de fortalezas y debilidades (a manera de matriz DOFA) y la valoración de impactos que fueron identificados como los de mayor incidencia al sistema de producción como a la estabilidad financiera de la familia rural. Es importante mencionar que en estos talleres participativos se aplica la metodología de la “Matriz de valoración de problemas” propuesto por Geilfus, 1997. En el siguiente cuadro se muestra el resultado del proceso anterior en tres agroecosistemas, este cuadro es meramente ilustrativo de las posibilidades que es este paso se tienen.

Tabla 2. Puntos críticos en agroecosistemas campesinos.

Atributo de sustentabilidad	Criterio de diagnóstico	Agroecosistema 1	Agroecosistema 2
Productividad, Estabilidad, Resiliencia, Adaptabilidad, Equidad, Autogestión.	Retornos	Rendimientos agrícolas inferiores al promedio de la región.	Rendimientos agrícolas inferiores al promedio de la región.
		Ingresos insuficientes para atender necesidades básicas	Ingresos insuficientes para atender necesidades básicas
	Eficiencia	Escasa rentabilidad del ejercicio agrícola.	Adecuada rentabilidad
	Conservación	Alta dependencia de insumos químicos.	Frecuente uso de insumos químicos
		Escasa cobertura del suelo.	
		Frecuentes ataques de plagas y enfermedades	Frecuentes ataques de plagas y enfermedades
		Fuentes de agua	
		Dependencia de fertilizantes.	Dependencia de fertilizantes.
	Diversidad	Monocultivos	Escasa rotación de cultivos
		Protección de áreas de bosque	Protección de áreas de bosque
		Pérdida de semillas locales	Escaso uso de semillas locales
		Biodiversidad	
	Participación	Relevo generacional ¹	Relevo generacional
		Mano de obra familiar.	Mano de obra familiar.
		Activa participación en organizaciones	Activa participación en organizaciones
	Capacidad de cambio e innovación	Sistema de riego de alto consumo.	Sistema de riego de alto consumo.
		Acceso a tecnología	Acceso a tecnología
		Infraestructura tecnológica y financiera	
		Acceso a capacitación	Acceso a capacitación
	Autosuficiencia	Dependencia de insumos externos	

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016.

En los pasos 3 y 4 referente a la formulación y estandarización de indicadores es importante mencionar que la metodología MESMIS propone que en los agroecosistemas se identifiquen los atributos de sustentabilidad que este posee: Productividad, Estabilidad, Resiliencia, Adaptabilidad, Equidad, Autogestión; a partir de los cuales se derivan los criterios de diagnóstico (Retorno, Eficiencia, Conservación, Diversidad, Participación, Capacidad de cambio e innovación y Autosuficiencia), cada uno de los cuales están conformados por diversos indicadores (Ver cuadro 2). La estructuración del conjunto de indicadores está basada en la identificación de los puntos críticos previamente identificados en cada agroecosistema y correlacionados con los atributos de sustentabilidad. La sustentabilidad

¹ Por la presencia de jóvenes y niños en el núcleo rural.

del agroecosistema es la resultante de la valoración de estos criterios a partir del desempeño del conjunto de indicadores, los cuales se expresan en función de un juicio de valorativo sobre lo considerado como un desempeño adecuado de prácticas agrícolas, arreglos productivos, y gestión de aspectos ambientales en la región. Para la estandarización de los indicadores se propone una escala de valoración de uno (1) a cinco (5), donde el nivel de desempeño más bajo o práctica inadecuada se valora con 1 y la mejor condición posible o mejor práctica se valora con 5 (Fonseca, Cleves y León 2016). Los criterios evaluados fueron los siguientes:

1.5.1. Criterio Retorno

Este criterio se define como la sumatoria de los ingresos tanto de tipo financiero como los beneficios de tipo ambiental y social percibidos por los integrantes del núcleo familiar como rentabilidad monetaria del ejercicio agropecuario del agroecosistema, en ella se deben contabilizar tanto las inversiones en forma de mano de obra de los integrantes de núcleo familiar, su participación en otras actividades no agropecuarias propias del entorno rural. Este criterio está conformado por el siguiente indicador.

a. Indicador Valor Presente Neto (VPN)

Este indicador mide el grado en el cual el agroecosistema tiene la capacidad para que las inversiones allí ejecutadas tendrán un retorno financiero en términos de rentabilidad y ganancia esperada. Se estima teniendo en cuenta los ingresos totales por actividades agropecuarias (ΣBT), menos los costos en los cuales se ha incurrido (ΣCT), dividido por la tasa de descuento (r) en un periodo de tiempo que generalmente es un año (t). Para la construcción de la escala valorativa de este indicador se tiene como premisa (en la región) que el porcentaje del VPN con lo cual se recupera la inversión (cubre los costos de producción) y se genera un excedente de rentabilidad, el VPN debe ser superior al 30%² del valor presente neto sobre la inversión (Alves *et al.*, 2015). El VPN se estima mediante la siguiente expresión:

$$VPN = \Sigma BT - \Sigma CT / (1 + r)^t$$

1.5.2. Criterio Eficiencia del agroecosistema

Este criterio evalúa la proporción entre el retorno o beneficio financiero y la inversión de tipo financiero que en la cual se ha incurrido para el funcionamiento

² Cuando el VPN es superior a cero (0) se considera que el proyecto de inversión es viable. Para las actividades agropecuarias en la región el VPN del 30% es considerado adecuado.

del agroecosistema, con este criterio se busca medir la eficiencia del sistema mediante el siguiente indicador.

a. Indicador Beneficio Costo B/C

Este indicador da cuenta de la relación entre los ingresos totales por concepto de ventas (beneficios) y el total de los costos de producción en los agroecosistemas. Para su cálculo se tiene en cuenta la tasa de interés promedio en la región que es de 9,4 %³ (r) anual (t). El juicio de valor en la escala propuesta se considera que la relación beneficio/costo (B/C) que es atractiva por su rentabilidad es aquella cercana a 1,3; pues además de recuperar la inversión se obtiene la utilidad⁴ adicional con la cual las actividades agropecuarias se consideran óptimas dentro de la dinámica económica.

Formula indicador beneficio – costo (B/C)

Tabla 3. Escala de VPN y B/C.

$$BC = \left(\frac{\sum BT / (1+r)^t}{\sum CT / (1+r)^t} \right)^1 \quad (\text{Astier et al., 2012})$$

Valoración	VPN (%)	B/C
1	<5	<1
2	5-10	1 - 1,1
3	10-20	1,1 - 1,25
4	20-30	1,25 - 1,33
5	>30	>1,33

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016 Criterio de Conservación

1.5.3 Criterio de Conservación

En este criterio se condensa importante información que da cuenta de la base ecológica y la estabilidad del agroecosistema, los indicadores que constituyen el criterio muestran el grado con el cual se mantiene tanto la estructura del agroecosistema como de su funcionamiento, igualmente se evalúa el estado de conservación de la oferta ambiental (también denominado recursos naturales) que los soporta. Este criterio está conformado por los siguientes indicadores a saber:

³ Tasa de préstamos para actividades agropecuarias por parte del sistema bancario en la región.

⁴ Por cada peso invertido en el agroecosistema, se obtiene un retorno de 1,3 pesos, lo cual se considera como rentabilidad esperada para el sector agropecuario.

cobertura vegetal, calidad del suelo, disponibilidad de agua, presión de insectos plaga y enfermedades.

a. Indicador Cobertura Vegetal

En los agroecosistemas analizados se desarrollan principalmente actividades agrícolas, pecuarias, forestales, además de zonas de conservación), la cobertura vegetal se evaluó a través de la realización de monitoreos frecuentes con el fin de obtener el promedio ponderado en los diferentes usos del suelo. Dentro de la escala valorativa propuesta (de 0 a 5) este indicador asume un supuesto ideal de completa cobertura del suelo (incluye coberturas nobles, mulch y praderas). La determinación se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$ICVT = \dot{X}CA + \dot{X}CP + \dot{X}CF$$

Con esta expresión se determina la cobertura vegetal del agroecosistema (CVT); la cual es la resultante de la sumatoria de los promedios ponderados de las coberturas de las áreas de uso agrícola (XCA); uso pecuario (XCP) y uso forestal o de conservación (XCF).

b. Incidencia de insectos plagas y enfermedades

En los agroecosistemas familiares campesinos es frecuente el uso de productos de síntesis química, pero en algunos casos estos son usados abundantemente, yendo en contravía de sus prácticas tradicionales de manejo donde se privilegian las agroecológicas y/o conservacionistas. Este indicador surge en la medida que se quiere establecer su grado de aplicabilidad y su incidencia en la sustentabilidad del agroecosistema. Para lo anterior en cada agroecosistema se evaluó la incidencia de insectos plaga y las enfermedades de importancia económica en los cultivos, para lo anterior se establecieron en campo un sistema de trampas específicas para cada especie en las cuales se realizó conteo de individuos capturados en intervalos homogéneos y/o evaluación de daño según fuera el caso. El nivel de incidencia de estos agentes biológicos se obtuvo promediando las capturas de los insectos plaga, para este caso de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) y de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), capturados mediante trampas. Es importante mencionar que para su ponderación en la escala valorativa se tienen en cuenta el umbral de daño económico de estos insectos plaga que para tal efecto tiene el Instituto Colombiano Agropecuario ICA y el Centro internacional de la

papa (ICA, 2011; CIP, 2005; Quiroz *et al.*, 2014). Bajo este modelo se realizó la evaluación de los demás insectos plaga y las enfermedades de mayor importancia en los cultivos. Se logra mediante la siguiente expresión:

$$PPE = \frac{Xp1 + Xp2 + Xp3 \dots n}{n}$$

$$Xpn = \frac{Xm1 + Xm2 + Xm3 \dots n}{n}$$

La presión de insectos plaga de importancia económica y las enfermedades (PPE) se obtiene del promedio de la sumatoria de la incidencia de estas especies (Xpn). Para determinar este promedio de cada una de las especies evaluadas (Xmn) se recomienda realizar varias lecturas o muestreos (n).

Tabla 4. Escala indicador plagas y enfermedades.

Plaga/ Enfermedad	Monitoreo	Base para Escala	Desempeño				
			1	2	3	4	5
PAPA			1	2	3	4	5
Polillas	Trampa	50 Adultos/ Trampa/8 días	>50	50-40	40-20	20-10	<10
Gusanos	Trampa	200 Adultos / trampa/15 días	>200	200-150	150-100	100-50	<50
Minador	Trampa	300 Adultos/ Trampa/8 días	>300	300 - 200	200 - 100	100 - 50	<50
Gotas	Observación	% de severidad/ 15 días	>50%	50 - 35%	35 - 25%	25 - 15%	0 -15%

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016

c. Cantidad de agua por unidad de superficie

Un indicador de importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas es el acceso y capacidad de almacenamiento de recurso hídrico, para determinar la disponibilidad (acceso directo y almacenamiento) se evaluó las fuentes para el acceso directo (ríos, quebradas, nacimientos) y la infraestructura para almacenamiento y distribución (reservorios). Es importante destacar que además de evaluar la provisión de agua por unidad de superficie (hectáreas), se cuantifica su capacidad de recarga, entendida como el tiempo que la fuente requiere para recuperar su nivel inicial, para lo anterior se establecen aforos periódicos; se

recomienda hacer la evaluación en dos épocas, una seca y otra de lluvias. El valor del indicador se obtiene del promedio de las evaluaciones de las dos épocas, tanto de la disponibilidad de agua (litros/hectárea) como de la velocidad de recarga. Para su valoración en la escala propuesta se estima que la provisión de agua necesaria para el desarrollo de actividades agrícolas en esta zona es de 250 m³ por hectárea/año y capacidad de recarga de 30 litros/segundo como condición ideal para los agroecosistemas (Quiroz *et al.*, 2014). Para determinar estos valores se usa la siguiente expresión:

$$DA = \frac{XV1 + XV2 + XV3 \dots\dots XVn}{AT}$$

La disponibilidad de agua (DA) está dada por el promedio del agua almacenada en las fuentes (XVn) sobre el área agropecuaria total (AT).

Tabla 5. Escala de valoración cobertura vegetal y disponibilidad de agua.

Desempeño	% Cobertura vegetal	Disponibilidad de agua (m ³)	Capacidad de recarga (L/S)
1	<10	0-62	0-8
2	10 - 30	62-125	8-17
3	30 - 50	125-187	17-25
4	70 - 50	187-250	25-35
5	>70	>250	>35

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016

d. Indicador Calidad del Suelo

Este cuarto indicador se construye teniendo como insumo principal los resultados del análisis físico- químico del suelo, el indicador apunta a determinar el desempeño de las condiciones productivas del suelo frente a un patrón de referencia considerado como óptimo para las condiciones regionales. El indicador mide el desempeño de las características físico-químicas del análisis de suelo, en la escala valorativa propuesta el juicio de valor más alto está dado por la mejor condición de cada aspecto contenido en dicho análisis, y va descendiendo cuando este aspecto es menos favorable. Para lo anterior se usa la siguiente expresión.

$$CS = \frac{P1 + P2 + +P3 + \dots Pn}{n}$$

El valor del indicador calidad del suelo (CS) se obtiene del promedio de los valores obtenidos en la escala de valoración propuesta de cada parámetro físico- químico evaluado (Pn).

Tabla 6. Escala valoración del suelo.

Factor	Rango óptimo	Desempeño				
		1	2	3	4	5
pH	5,6 -7,3	2,6 -1	2,6 A 3,6	3,6 - 4,6	4,6 - 5,6	5,6 -7,3
MO (FRIO)	Frio: 5-10	< de 2	2-4	5-4	5-8	8 0 >
P (ppm)	20 -40	<5	5-10	10-15	15-25	25-40
Al	1-2	>2	2 -1,7	1,7-1,5	1,5 - 1	<1
Ca	3-6	<3	2-3	3-4	4-5	>6
Mg	1,5 - 2,5	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016

1.5.4 Criterio Diversidad

Este criterio identifica y valora la riqueza biológica que posee el agroecosistema en determinado momento, el cual además de mostrar la fortaleza que este posee, es de importancia para el funcionamiento del mismo y de su capacidad de soporte (ecosistémico) que en últimas es la base de la resiliencia y la sustentabilidad, está constituido por los siguientes indicadores.

a. Indicador Riqueza y Diversidad de Especies

El indicador mide la biodiversidad específica la cual se refiere a la cantidad de especies que cohabitan dentro del agroecosistema (riqueza de especies) y la distribución de esta abundancia dentro del mismo (equitabilidad). Por ejemplo, si dentro del agroecosistema se identifican 10 especies, pero el 90% de los individuos son de la misma especie, la equitabilidad será baja; por el contrario, si cada una de las 10 especies poseen un individuo (10%) esta será máxima. Estos dos componentes son frecuentemente evaluados a través del índice de biodiversidad de Shannon (1987) este puede provenir de distintas combinaciones de riqueza específica y equitabilidad. Dentro de la escala valorativa el indicador toma valor de 0 cuando el agroecosistema posee pocas especie y un valor de 5 cuando allí existe amplia diversidad de especies (Golicher, 2005). En los agroecosistemas

se realiza la cuantificación de las diferentes especies tanto de interés agrícola, forestal y de conservación (especies nativas de bosque propias de la zona). Este índice se determina mediante la siguiente expresión:

$$H = - \sum_{i=1}^S (p_i \log_2 p_i)$$

Para el cálculo de este índice se tienen en cuenta los siguientes aspectos: la riqueza de especies (número de especies) dentro del agroecosistema (S); la abundancia relativa de la especie i (p_i), es decir la proporción de individuos de la especie con respecto al total de los individuos (N); el número de individuos de la especie i (n_i); y la población total de individuos de todas las especies (N).

b. Indicador Uso de Semillas Locales

El indicador busca determinar el nivel seguridad alimentaria al interior del núcleo familiar rural mediante la cuantificación del uso de semillas locales (entendidas como aquellas que son base de su alimentación y que por su uso ancestral y frecuente, así como la posibilidad de almacenarlas, multiplicarlas e intercambiarlas, se han convertido en patrimonio de la sociedad rural), para lo anterior indicador de uso de semillas locales (USL) se expresa como el cociente de las semillas locales (SL) sobre aquellas semillas que son adquiridas en establecimientos comerciales o que no tiene las condiciones anteriormente descritas (SC). La valoración del indicador se hace formularios tipo encuesta aplicados a integrantes del núcleo familiar. La valoración en la escala propuesta de 0 a 5 se hace teniendo como mejor condición posible que el 70 % de los alimentos de la familia provengan de este tipo de semillas. La siguiente expresión permite calcular el indicador uso de semillas locales.

$$USL = SL/SC$$

1.5.5. Criterio Participación

Este criterio da cuenta del grado de interacción social del núcleo familiar con la comunidad vecina y con otros actores directamente relacionados con actividades económicas, sociales y culturales en su entorno inmediato. Se evalúa la capacidad de los integrantes del agroecosistema para involucrarse y participar en procesos de autogestión y desarrollo de proyectos de interés general. Para lo anterior, este criterio evalúa los siguientes indicadores:

a. Cantidad y calidad de empleos requeridos

El indicador evalúa la cantidad de empleos que el agroecosistema genera, tanto para los integrantes del núcleo familiar (empleo interno) como para integrantes de la comunidad aledaña (empleo externo). Es importante tener en cuenta que la dinámica migratoria de las familias rurales está dada entre otros aspectos, en función del acceso a empleo suficiente, estable y de calidad; lo implica que tanto el núcleo familiar como la comunidad rural son altamente sensibles a variaciones de este tipo. Por lo tanto, se asume como condición ideal en la escala valorativa propuesta que los agroecosistemas generen empleos suficientes para los integrantes del núcleo familiar como también empleo externo para dinamizar la actividad económica local. Se estimó mediante consenso con los agricultores que la proporción ideal es que el 60%⁵ de los empleos requeridos sea cubierto con mano de obra familiar (empleo interno) y el restante empleo externo (Quiroz *et al.*, 2014). La siguiente expresión permite calcular este indicador:

$$EE = \frac{TE(\%EE)}{100\%}$$

$$EF = TE - EE$$

$$\%EF = \frac{\sum EF * 100}{TE}$$

El cálculo requiere cuantificar el empleo externo (EE); El empleo familiar (EF) y la totalidad de los empleos demandados en el agroecosistema (TE).

b. Participación en organizaciones locales

Para verificar la capacidad de interacción efectiva de la familia rural se establece la vinculación existente con organizaciones locales, para lo cual se identificaron las organizaciones de origen campesino o comunal presentes en la región y que responden al interés del quehacer de los integrantes del núcleo familiar. En la escala valorativa se estima como óptimo que exista participación en el 70% de las organizaciones locales, para su cálculo se usa la siguiente expresión.

$$\%POL = \frac{ASP * 100}{ALE}$$

⁵ El ejercicio de consenso con agricultores consistió en determinar la cantidad de jornales (día de trabajo hombre) que se requieren en su agroecosistema, y establecer el porcentaje óptimo que será ofrecido a los trabajadores de la zona con el fin de retenerlos y dinamizar la economía en la región.

La participación en organizaciones locales (POL) se obtiene identificando las organizaciones donde los integrantes del núcleo familiar participan (ASP) sobre las organizaciones locales existentes (ALE).

Tabla 7. Escala valoración semillas, empleos y participación.

Desempeño	Semillas locales (%)	Empleos (%)	Participación (%)
1	< 5	< 20	< 20
2	5 – 20	20 - 40	20 – 40
3	20 – 50	40 -60	40 – 60
4	50 – 70	60 - 80	60 – 80
5	>70	>80	80 – 100

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016

1.6 Criterio de capacidad de cambio e innovación

Los agroecosistemas en general posee atributos de índole ecológico, tecnológico y socio cultural lo cual les permite adaptarse a las condiciones cambiantes del medio, para algunos autores la capacidad de auto ajuste que estos poseen está directamente relacionado con su capacidad resiliente que por las condiciones expuestas su origen es ecosistémico, pero la resiliencia además de lo anterior es de tipo socioecológica, que refiere la capacidad de los integrantes del núcleo familiar para gestionar los procesos productivos internos en medio de diversa dificultades. Este criterio, por tanto, valora dicha resiliencia sociológica. Para lo cual el criterio está estructurado con los siguientes indicadores.

a. Indicador Innovación Tecnológica

El indicador estima el grado o nivel con la cual se hacen procesos de adopción de tecnologías y prácticas innovadoras dentro del agroecosistemas y que representan mejorar o ajustes dentro de los procesos de producción, transformación y comercialización entre otros aspectos. Para su determinación como juicio de valor en la escala propuesta se definió que la mayor cantidad de prácticas de ajuste tecnológico o innovadoras, se traduce en un mejor nivel de desempeño. La condición deseable es que se adopten al menos una práctica innovadora cada año⁶. Este indicador se estima con la siguiente expresión.

$$IT = \sum P$$

⁶ Esta condición se logró establecer mediante consenso con los productores agrícolas.

La innovación tecnológica (IT) está dada por la cantidad de prácticas de innovación tecnológica (P) que se implementan dentro del agroecosistema.

b. Indicador Capacitación y Gestión de Conocimiento

Otro aspecto relevante para determinar la capacidad de resiliencia socioecológica dentro del agroecosistema es la disposición efectiva para mejorar su nivel tecnológico, por lo tanto el indicador estima los procesos de capacitación y/o formación que los integrantes del núcleo familiar realizan durante un periodo determinado, es importante además tener en cuenta que los agroecosistemas poseen adelantos e innovaciones que son de interés para la comunidad, los cuales son dados a conocer mediante diferentes estrategias de extensión rural. La valoración en la escala propuesta asume como desempeño óptimo la participación en al menos 10 eventos durante el último año.

1.6.1 Criterio de Suficiencia del Agroecosistema

Los sistemas en general requieren para su adecuado funcionamiento la constante provisión de energía con la cual desarrolla sus procesos de generación o transformación. Desde la óptica de la teoría general de los sistemas propuesta por el biólogo alemán Ludwig Von Bertalanffy publicados entre 1950 y 1968, los agroecosistemas se comportan como “un todo organizado y complejo cuyos elementos están recíprocamente relacionados entre sí y con su medio”. Allí se desarrollan interacciones entre los diferentes elementos que le constituyen y donde se evidencia el cumplimiento de principios termodinámico, tal es así que este requiere de diversas fuentes energéticas para el cumplimiento de su función, las hay de tipo ecológico (la energía lumínica como base de los procesos fotosintéticos) y la energía cultural (generada por humanos) para la producción de biomasa en los agroecosistemas (Gliessman, 2001). Para los sistemas con principios de sustentabilidad se busca que la energía provenga en alto grado de procesos tróficos internos y en menor grado de fuentes energéticas externas. Este criterio está conformado por los siguientes indicadores.

a. Indicador Dependencia a Insumos Externos

Como se mencionó anteriormente los agroecosistemas requieren de fuentes energéticas, entendidos como aquellos insumos necesarios para el proceso productivo de los cuales se busca que provengan principalmente de su interior. Para calcular el grado o dependencia de insumos externos se cuantifica el costo total de los insumos provenientes del exterior, adquiridos mediante transacción

comercial en relación con los costos totales para cada actividad o ciclo de cultivo. El indicador dependencia de insumos externos (DIE) se obtiene del cociente entre los costos de los insumos (CT_i) sobre el costo de estos insumos adquiridos comercialmente (CT_{ie}). El escenario ideal es ideal es que el 70% sean insumos internos. La siguiente expresión muestra el cálculo del indicador

$$DIE = CT_{ie} / CT_i$$

$$CT_{ie} = \%CT_{ie} * CT$$

b. Indicador Ahorro Interno (AI)

Entre las múltiples dificultades que posee el sistema de producción agropecuaria nacional, especialmente de los pequeños productores rurales es su limitada capacidad de ahorro y por tanto el escaso músculo financiero para emprender proyectos productivos de mediano y largo plazo, prefiriendo así emprender actividades de bajo costo y bajo riesgo que les permita mantener funcionando su sistema de producción sin afectar la seguridad alimentaria de su familia. En tal sentido, la cuando los agroecosistemas no poseen recursos financieros suficientes para el establecimiento de los diferentes procesos productivos, quedan expuestos a las condiciones del mercado financiero, que desde la perspectiva de los productores rurales es una desventaja, ya que generalmente no cumplen con los requisitos para acceder a los créditos del sistema bancario, prefiriendo obtener estos recursos mediante un sistema de créditos informales que resulta ser más oneroso. El indicador evalúa la capacidad que tiene el agroecosistema para soportar los costos de establecimiento y manejo del proceso productivo con recursos propios y sin depender de créditos (es importante mencionar que este indicador se aplica para actividades productivas tradicionales, es decir no incluye cambios notables en sistema de producción productos de procesos de innovación). Su cálculo se hace mediante la determinación de los costos de producción cubierto con fuentes financieras externas, determinando el cociente entre los costos de producción (CT) sobre el costo asumido con préstamos (CP).

Este indicador ahorro interno (AI) evalúa los costos totales de producción que son cubiertos con préstamos (fuentes externas), para tal fin se realizó el cociente entre el costo total (CT) de producción y el costo total cubierto con préstamo (CP). En la escala valorativa se asume como condición ideal que el 20% de los costos de producción sean asumidos con crédito, dando la posibilidad de incluir ajustes tecnológicos o de innovación. La siguiente expresión se usa para su cálculo.

$$AI = \frac{CT}{CP}$$

$$CP = \%CP * CT$$

c. Indicador Seguridad Alimentaria

El principio de seguridad alimentaria dentro del núcleo familiar rural se tiende como la condición mediante la cual el agroecosistema provee alimentos en calidad y cantidad suficiente para atender las necesidades de los integrantes de la familia, esta condición está se puede dar por los alimentos que allí se producen o por la generación de recursos financieros suficientes para su adquisición. Tanto por calidad, cantidad y oportunidad se prefiere que sean alimentos generados al interior del agroecosistema, por lo tanto, para el cálculo del indicador se estimó el costo mensual de los alimentos consumidos por la familia y el costo de los alimentos que se proveen desde el agroecosistema. El cálculo de seguridad alimentaria (SA) se obtiene del cociente entre el costo total de alimentos (CTA) y el costo de alimentos proveniente del agroecosistema (CAa) Para la escala valorativa se estima como condición ideal que al menos el 50% de los alimentos provengan del interior del agroecosistema. La siguiente expresión permite determinar el nivel de seguridad alimentaria.

$$SA = \frac{CTA}{CAa}$$

$$CTA = \%CTA * CAa$$

Tabla 8. Escala valorativa indicadores capacidad de cambio y autosuficiencia.

Desempeño	Innovación Tecnológica	Gestión del conocimiento	Dependencia (%)	Ahorro interno %	Seguridad alimentaria (%)
1	<1	1-3	>80	>80	< 20
2	1-3	3-5	80 - 60	80 - 60	20 - 30
3	3-5	5-7	60 - 40	60 - 40	30 - 40
4	5 -7	7-10	40 - 20	40 - 20	40 - 60
5	>7	>10	< 20	< 20	> 60

Fuente: Fonseca, Cleves y León 2016Conclusiones

1.7. Conclusiones

Este documento recoge la interpretación y ajustes realizados para la evaluación de sustentabilidad de agroecosistemas, el cual constituye un proceso complejo que requiere la mirada desde diversas disciplinas y áreas del conocimiento que pueden ser integradas en el MESMIS, la cual constituye una valiosa herramienta para la valoración de los aspectos sociales, culturales, tecnológicos y ambientales de los agroecosistemas.

La caracterización permite evidenciar las diferentes tipologías de agroecosistemas existentes que están diferenciados fundamentalmente por el manejo de la oferta ambiental (recursos naturales), el nivel tecnológico y la capacidad de innovación dentro del proceso productivo. En el mismo sentido existen evidentes diferencias en la adopción de modelos tecnológicos de altos insumos químicos que posiblemente incidan en las evidentes limitantes de productividad por el deterioro de suelos, que aunado a escasas y escasa gestión del recurso hídrico posee como resultante la baja rentabilidad de la actividad agropecuaria. Muy distinto para otros agroecosistemas donde el enfoque está centrado en la preservación de los componentes de oferta ambiental (gestión de suelos, agua y biodiversidad).

La caracterización permitió identificar la problemática tanto de tipo ambiental, tecnológico y socioeconómica con lo cual es posible identificar los atributos de sustentabilidad, los criterios de diagnóstico y para cada uno de ellos la batería de indicadores. La estandarización de estos indicadores se realiza mediante una escala de valoración que va desde cero (0) hasta cinco (5), donde el mejor desempeño posible del indicador es valorado con la máxima puntuación, y el desempeño bajo o inadecuado recibe la valoración más baja.

Los resultados obtenidos en los agroecosistemas evaluados sugieren que existe una interdependencia entre las prácticas agrícolas, las condiciones ecológicas y socioeconómicas del núcleo familia. Tal es así, que los indicadores que evalúan prácticas agrícolas poseen bajo desempeño (en la escala propuesta) lo que posiblemente ha disminuido la disponibilidad de recursos naturales, afectando ostensiblemente su capacidad productiva. Lo anterior permite inferir que el nivel de sustentabilidad de los agroecosistemas viene fundado por el nivel o condición de resiliencia sociocultural del núcleo familia rural, lo cual les procura un diferencial productivo agropecuario, de beneficios ambientales y financieros que definen su

permanencia dentro del ámbito rural en actividades agropecuarias, o por el contrario el inicio de un proceso migratorio.

La metodología MESMIS propone un último paso de recomendaciones para fortalecer la sustentabilidad de los sistemas de manejo. Para el presente trabajo de investigación y a la luz de los resultados obtenidos, es recomendable aumentar la diversificación de los agroecosistemas, es decir aumentar la cantidad de especies (agrícolas y pecuarias) para, por un lado, mejorar la condición de seguridad alimentaria del núcleo familiar, y por otro, aumentar la oferta de productos agropecuarios con miras a soportar con mayor eficiencia las fluctuaciones de precios tanto en los mercados locales como nacionales. Es importante que los agroecosistemas emprendan acciones para una efectiva gestión del recurso hídrico, implementando acciones para aumentar su capacidad de almacenamiento, mejorar su calidad y disponibilidad, aumentar las estrategias para mantener la cobertura del suelo, entre otros aspectos que permiten hacer planeación de actividades de acuerdo a las condiciones climáticas y los requerimientos de los mercados.

Bibliografía

- Aguilar-Jiménez, Carlos E., Tolón-Becerra, Alfredo, & Lastra-Bravo, Xavier. (2011). Evaluación integrada de la sustentabilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 43(1), 155-174. Recuperado en 22 de agosto de 2016, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652011000100011&lng=es&tlng=es.
- Albicette, M., Brasesco, R, & Chiappe, M. (2009). Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 13(1), 48-68. Recuperado en 22 de agosto de 2016, de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482009000100007&lng=es&tlng=es.
- Altieri M. 2013. "Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas", en: Nicholls C, Ríos L, Altieri M. (ed.) *Agroecología y resiliencia ecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín: Legis: 94-104. Alves EP., L. Silva, N. Oliveira, T. Barrella, H. Santos. 2015. "Economic analysis of a coffee-banana system of a family-based agriculture at the atlantic forest zone, Brazil", *Ciência E Agrotecnologia*, vol. 39(3): 232-239.
- Astier, M., and C. González. 2008. Formulación de indicadores socio-ambientales para evaluaciones de sistemas de manejo complejos, en M. Astier, Y. Galván-Miyoshi, and O. R. Maseira, (ed.), *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. Valencia: MundiPrensa.

- Astier, M., L. García, Y. Galván-Miyoshi, C. González, O. Masera. 2012. "Assessing the Sustainability of Small Farmer Natural Resource Management Systems. A Critical Analysis of the MESMIS Program". *Ecology and society*, vol. 17(3): 25-34.
- Cândido, Gesinaldo de Ataíde, Nóbrega, Mariana Moura, Figueiredo, Marília Taynah Martins de, & Souto Maior, Mônica Maria. (2015). Avaliação da sustentabilidade de unidades de produção agroecológicas: um estudo comparativo dos métodos idea e Mesmis. *Ambiente & Sociedade*, 18(3), 99-120. <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC756V1832015v>
- Cottrell, S.P., van der Duim, R., Ankersmid, P. y Kelder, L. (2004): "Measuring the Sustainability of Tourism in Manuel Antonio and Texel: A Tourist Perspective". *Journal of Sustainable Tourism*, 12, 5, pp. 409-431.
- Domínguez Serrano, M., & Blancas Peral, F., & Guerrero Casas, F., & González Lozano, M. (2011). Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 11, 41-70.
- Ebert U. y H. Welsch (2003). "Meaningful environmental indices: a social choice approach". *Journal Environmental Economics and Management*, 47: 270-283.
- Fonseca, J.A., Pita, Y.X. y Botía, B.Y. (2018). Caracterización y Tipificación de los Atributos Ecosistémicos de la Agricultura Familiar Campesina en la Microcuenca del Río Cormechoque (Boyacá). *Revista de Investigación agraria y ambiental*, 9(2), 49-62.
- Fonseca, J.A., Cleves, J.A., León, T.E. (2016). Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas familiares campesinos en la cuenca del río Cormechoque. *Revista Ciencia y agricultura*, 13(1), 29-47.
- Fonseca, D. M. S. & Fonseca, J. A. (2011). Producción sostenible de pollo de engorde y gallina ponedora campesina: revisión bibliográfica y propuesta de un modelo para pequeños productores. *RIAA*, 2(1), 29-43. 11.
- Fonseca, J. A., Muñoz, N. A. & Cleves, J. A. (2011). El sistema de gestión de calidad: elemento para la competitividad y la sustentabilidad de la producción agropecuaria colombiana. *RIAA*. 2(1): 9-22.
- Fonseca Carreño, J. (2013). Integración de microempresas lácteas del corredor central del departamento de Boyacá (Colombia). *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 4(2), 117-133. doi:<http://dx.doi.org/10.22490/21456453.986>
- Fonseca, J., Cleves-Leguizamo. 2015. "Agroecología y variaciones climáticas: dos retos urgentes para la humanidad, en: R. Giraldo (ed.) *Ciudadanía ambiental, crisis de la agricultura convencional y desafíos para una agroecología orientada hacia el desarrollo rural*: 85-103.
- Fonseca, J.A., Corredor, E.S. y Páez, E.M. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación agraria y ambiental*, 3(1), 77 - 83
- Geilfus, F. 1997. *80 Herramientas para el Desarrollo Participativo. Diagnóstico, Planificación, Monitoreo y Evaluación*. IICA-GTZ. 208 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 2011. "Manejo fitosanitario del cultivo de la papa". pdf. (en línea); Fecha de acceso 22 de noviembre de 2017; Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-97c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-nbsp;-.aspx>
- International Potato Center. 2015. "Manejo de gusano blanco". (en línea); fecha de acceso 22 de noviembre de 2017; Disponible en: <http://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/manejo-de-gusano-blanco-de-la-papa>

- Masera, O. R., M. Astier, y S. López-Ridaura. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco MESMIS*. México. Mundiprensa.
- Neri-Ramírez, Efraín, Rubiños-Panta, J. Enrique, Palacios-Velez, Oscar L., Oropeza-Mot, José L., Flores-Magdaleno, Héctor, & Ocampo-Fletes, Ignacio. (2013). Evaluación de la sustentabilidad del acuífero Cuautitlán-Pachuca mediante el uso de la Metodología MESMIS. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 273-286. Recuperado en 22 de agosto de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-32312013000200009&lng=es&tlng=es
- Priego-Castillo, GA, Galmiche-Tejeda, A, Castelán-Estrada, M, Ruiz-Rosado, O, & Ortiz-Ceballos, Al. (2009). Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción de cacao: estudios de caso de unidades de producción rural en Comalcalco, Tabasco. *Universidad y ciencia*, 25(1), 39-57. Recuperado en 22 de agosto de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000100003&lng=es&tlng=es
- Quiroga, R. 2009. "Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe". División de Manuales, CEPAL, (61), 129p.
- Quiroz, Elsy., Tibatá, Adriana., y Villamil, Claudia. (2014). Evaluación de la sostenibilidad de unidades productivas agropecuarias en los municipios de Chivatá, Soracá y Tinjacá departamento de Boyacá. Tesis de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tunja.
- Sajeva, M., Gatelli, D., Tarantola, S. y Hollanders, H. (2005): Methodology Report on European Innovation Scoreboard 2005. A discussion paper from the Innovation/SMEs Programme, European Commission.
- Tapia, J.E. (2007). "El escalamiento óptimo con base en el análisis de componentes principales no lineales para la construcción de índices de condiciones de vida y socioeconómico". Tesis ingeniero matemático. Facultad de ciencias, Ingeniería matemática. Escuela Politécnica Nacional. pp 1-15 Quito. Ecuador. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/537>
- Tsaur, H.S., Lin, Y.C. y Lin, J.H. (2006): "Evaluating Ecotourism Sustainability from the Integrated Perspective of Resource, Community and Tourism". *Tourism Management*, 27, pp. 640-653.
- Ugwu, O.O., Kumaraswamy, M.M., Wong, A. y Ng, S.T. (2006): "Sustainability Appraisal in Infrastructure Projects (SUSAIP) Part 1. Development of Indicators and Computational Methods". *Automation and Construction*, 15, pp. 244-256.