UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS

MAESTRÍA EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

EL ESTADO NUTRIMENTAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

PRESENTA:

ING. SERGIO ALI HERNÁNDEZ AGUIRRE

CHAPINGO, MÉXICO SEPTIEMBRE 2010

LA PRESENTE TESIS TITULADA EL ESTADO NUTRIMENTAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD, FUE REALIZADA POR EL ING. SERGIO ALI HERNÁNDEZ AGUIRRE, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. RANFERI MALDONADO TORRES Y ASESORÍA DEL MC. MIGUEL URIBE GÓMEZ Y EL DR. DAVID CRISTOBAL ACEVEDO, HA SIDO EXAMINADA Y APROBADA POR EL JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

H. JURADO EXAMINADOR

PRESIDENTE: _____

Dr. RANFERI MALDONADO TORRES

SECRETARIO: _____

MC. MIGUEL URIBE GÓMEZ

VOCAL: _____

DR. DAVID CRISTÓBAL ACEVEDO

DEDICATORIA

A Dios por las grandes bendiciones, por permitirme despertar cada día, por dejarme seguir aprendiendo sobre la vida y por enseñarme a reconocer las oportunidades que con tanto amor me obsequia.

A mi esposa, Johena Itzel, por todo su amor y apoyo, por estar a mi lado en esta aventura de vida, por compartir objetivos a los que buscamos llegar de la mano, por toda la esperanza y los sueño juntos.

A mis Hijos Miguel e Israel por la gran motivación, por el brillo en sus ojos, por las lecciones que me dan cada día sobre esto de ser padre, y sobre todo por su gran amor que no pide más que sólo esté ahí para ellos.

A mis padres, Alberto y Genoveva por todas las enseñanzas, por su guía y por todo el esfuerzo que han hecho para que hoy pueda tener todas las herramientas para ser un buen hombre.

A mi suegro, por toda la confianza, cariño y su gran apoyo.

A mi hermano Jery, porque siempre puedo contar con él.

A la familia Uribe Bernal, por su apoyo y amistad, pero sobre todo por haberme integrado como un miembro más de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres por dirigir este trabajo.

Al M.C. Miguel Uribe Gómez por su apoyo, asesoría, consejos y paciencia.

A mis maestros, y a quienes colaboraron, directa o indirectamente, para realizar esta tesis.

Nací en el Estado de México el 21 de noviembre de 1978. Mi formación académica fue en la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente resido en el estado de Colima.

1. Información de contacto:

- E-mail: sergio_ali_x2@yahoo.com.mx
- Teléfono: 36247240, 044 3314745681

2. Formación Académica

Maestría	Departamento de suelos. Programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo.
Licenciatura	Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. De 1998 a 2002.
Preparatoria Agrícola	Universidad Autónoma Chapingo.

3. Experiencia Profesional

- Junio 2010 a la fecha. Subgerente de Producción y Productividad en el estado de Colima, en la Comisión Nacional Forestal. Oficina estatal Colima, Colima, Colima.
- Abril 2010 a Junio de 2010. Jefe del Departamento de Dendroenergía en la Comisión Nacional Forestal. Realizando actividades de planeación y ejecución del Programa Nacional de Dendroenergía. Oficinas Centrales, Zapopan, Jalisco.
- Julio 2009 a Abril 2010. Analista Técnico de Dendroenergía en la Comisión Nacional Forestal, dentro del Departamento de Dendroenergía y Diversificación Productiva. Oficinas Centrales, Zapopan, Jalisco.

- Prestador de Servicios Profesionales para el proyecto de Dendroenergía en la Comisión Nacional Forestal, dentro del Departamento de Dendroenergía y Diversificación Productiva. Oficinas Centrales, Zapopan, Jalisco. (Febrero a Julio de 2009)

- Diciembre de 2008 a Febrero de 2009. Coordinador de equipo multidisciplinario para elaborar un Diagnóstico Ecosistémico, dentro del Plan Maestro para la Restauración Ambiental de la Cuenca Alta Río Lerma, dirigido por la Unidad Gestora de Servicios Tecnológicos de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

- Diciembre de 2005 a Diciembre de 2007. Subdirector de la Empresa "Arquitectura y Diseño", Tecámac, Estado de México. Realizando trabajos relacionados a la arquitectura del paisaje y construcciones ecológicas.

- Ciclo escolar 2006 – 2007. Profesor del área de Matemáticas en el Instituto Educativo Generación 2000, (clave oficial: 15PES137IV), Tecámac, Estado de México.

- Febrero 2004 a Diciembre 2005. Subdirector del Área Educativa y Encargado del Área Ecológica en Setilistli A.C. de Tehuacán Puebla, elaborando y ejecutando además, el proyecto "Educación ecológica para todos", aprobado por el PACMyC (Programa de Apoyo a las Culturas Municipales y Comunitarias).

- Febrero de 2004 a Diciembre 2005. Profesor del área de Matemáticas en el Bachillerato General con Diplomado Técnico San José (clave oficial: 21EBH0366E), Tehuacán, Puebla.

- Agosto de 2003 a Diciembre de 2003. Ingeniero Asignado a la región Montaña de Guerrero representando a PADS S.C. (Promotores de la Autogestión para el Desarrollo Social), Chilpancingo Guerrero, ejecutando el proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas en tres ecoregiones prioritarias del PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo).

- Febrero de 2003 a Julio de 2003. Encargado del Área de ecología en Setilistli A.C. de Tehuacán, Puebla.

- Febrero de 2003 a Julio de 2003. Profesor del área de Matemáticas en el Bachillerato General con Diplomado Técnico San José (clave oficial: 21EBH0366E), Tehuacán, Puebla.

- Septiembre de 2002 a Enero de 2003. Evaluación de proyectos productivos de la zona noreste de México, para el Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

RESUMEN

EL ESTADO NUTRIMENTAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD

ING. SERGIO ALI HERNÁNDEZ AGUIRRE[1]
DR. RANFERI MALDONADO TORRES[2]

El costo del desarrollo como eje de la economía de mercado se ha basado en la destrucción de otras dos economías: la de los procesos naturales y la supervivencia del hombre (Espino, 2005). Esta situación es un error evidente que ha cometido y sigue cometiendo la sociedad desde hace ya muchos años. Este error pone en riesgo la vida no sólo de muchas especies, sino la del hombre mismo. Al respecto, Masera *et al*. (1999), indica que el desarrollo sostenible es el proceso mediante el cual se cubrirían de manera permanente las necesidades materiales y espirituales de todos los habitantes del planeta sin deterioro o incluso con una mejora de las condiciones socioambientales que les dan sustento.

En relación al párrafo anterior, es una prioridad lograr la sostenibilidad en toda actividad humana, incluyendo el proceso de producción de alimentos. En este sentido, surgen alternativas al sistema agrícola convencional, un ejemplo de estas son los sistemas agroforestales. Estos sistemas de producción de alimentos buscan un mayor acercamiento a la condición de sostenibilidad. Sin embargo, la forma de evaluarla es aún debatible. Entonces, la pregunta es: ¿cómo saber que estos sistemas están en buen camino para lograr formas de producción sostenibles?

En este contexto, surge la necesidad de tener indicadores que no sólo permitan medir la sustentabilidad con mayor éxito, sino que permitan su correcta integración e interrelación entre ellos. Como respuesta a esta necesidad, la presente investigación se planteó definir un indicador de sostenibilidad para evaluar un sistema agroforestal con base en su estado nutrimental, debido a la importancia que tiene este estado, como factor limitante de la producción, su grado de manipulación y la relación que puede tener con otros factores tanto, ambientales como socioeconómicos.

Para elaborar una metodología que nos llevará a definir un indicador de sostenibilidad a partir del estado nutrimental en un sistema agroforestal, se tomó como referencia el protocolo de "estudio de revisión de casos", descrito por Méndez *et al.* (1990). Este es una estructura que revisa la evolución del fenómeno estudiado a partir de información relacionada con el tema y de la cual se puedan obtener ciertas conclusiones. Así, se revisaron investigaciones realizadas por otros autores, integrando y analizando los resultados para obtener nuevas aportaciones, por lo que fue necesario ordenar, clasificar y agrupar los resultados conforme a criterios pertinentes al objeto de esta investigación.

Adicional al establecimiento del indicador de sostenibilidad, se propuso la incorporación de este, dentro de la metodología del "Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad" (MESMIS). Esta metodología se concentra en la evaluación de sistemas de producción de alimentos, buscando que los resultados se apliquen para lograr el desarrollo sostenible en las comunidades rurales, por lo que esta metodología es excelente para incorporarle la cualidad de aplicación del indicador propuesto.

Como conclusiones de la presente investigación, se confirmó que las mediciones del estado nutrimental de un sistema agroforestal pueden ser utilizadas como un indicador integral y eficiente, aplicándolo dentro de alguna metodología de evaluación de sostenibilidad. Este indicador permite apoyar una evaluación eficiente de la condición de sostenibilidad en el manejo del sistema de producción, integrando otros indicadores y apoyando directamente la toma de decisiones respecto al manejo del sistema agroforestal.

[1] Autor de la tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH. Chapingo, México, Mayo, 2010.

[2] Director de la tesis de grado. Profesor investigador de la UACH.

ABSTRACT

THE NUTRITIONAL STATUS OF AN AGROFORESTRY SYSTEM AS INDICATOR OF SUSTAINABILITY

ING. SERGIO ALI HERNÁNDEZ AGUIRRE[1]
DR. RANFERI MALDONADO TORRES[2]

The cost of development at the axes of the market economy has been based on the destruction of two economies: natural processes and human survival (Espino, 2005). This situation is an obvious mistake that society has committed for many years and continues to commit. This failure threatens the lives not only of many species, but also humanity itself. In this regard, Masera et al. (1999) suggests that sustainable development is the process by which the material and spiritual needs of all inhabitants of the planet can be permanently met without causing damage. Indeed, the social and environmental conditions that give them sustenance can even be improved.

In relation to the above, it is a priority to achieve sustainability in all human activities, including the process of food production. In this sense, alternatives to the conventional agricultural system have arisen, with one example being the agroforestry systems. These systems are designed to achieve food production closer to the condition of sustainability. However, the best way to evaluate it is still debatable. So the question is: how do you know that these schemes are on track to achieve sustainable forms of production?

In this context, the need arises to have indicators that not only allow measuring sustainability with greater success, but also permit their successful integration and interaction between them. In response to this need, this research set out to define a sustainability indicator for evaluating an agroforestry system based on its nutritional status because of the importance of this state as a limiting factor of production, the degree of manipulation and the relationship that it can have with other factors, both environmental and socio-economic.

To develop a methodology that will lead us to define a sustainability indicator from nutritional status in an agroforestry system, the protocol of a "case-review study", described by Mendez et al. (1990), was taken as a reference. This is a structure that reviews the evolution of the phenomenon studied based on information related to the topic and which can produce certain conclusions. Thus, studies carried out by other authors were reviewed, integrating and analyzing the results to obtain new contributions. Therefore, it was necessary to order, sort and group together the results according to criteria relevant to the subject of this research.

In addition to generating the sustainability indicator, it was proposed that it be incorporated within the methodology of the "Framework for the Evaluation of Management Systems incorporating Sustainability Indicators" (MESMIS). This methodology focuses on the assessment of food production systems, seeking to apply the results to achieve sustainable development in rural communities; thus, this method is excellent to incorporate the quality of implementation of the proposed indicator.

The conclusions of this study confirmed that nutritional status measures of an agroforestry system can be used as a comprehensive and efficient indicator, applicable within a sustainability assessment methodology. This indicator can support an efficient evaluation of the status of sustainability in the management of the production system, integrating other indicators and directly supporting decision making regarding the management of the agroforestry system.

[1] Author of a thesis presented as partial requirement for the degree of Master of Science in Agroforestry Sustainable Development. UACH. Chapingo, Mexico, May, 2010.

[2] Thesis Director. UACH Researcher Professor.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVO GENERAL 3

2.1. OBJETIVOS PARTICULARES 3

3. REVISIÓN DE LITERATURA 3

3.1. DEFINICIÓN DE SOSTENIBILIDAD 3

3.2. DESARROLLO SOSTENIBLE 5

3.3. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD 8

3.4. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 10

3.5. METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 11

3.5.1. Metodología 1. La modelización interactiva en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo y en la transferencia de tecnología (Delgado y Núñez, 2004). *11*

3.5.2. Metodología 2. Un Sistema Integral de Evaluación y Transferencia de Tecnologías para una Agricultura Sustentable en Venezuela (Delgado y Cabrera, 2005). *13*

3.5.3. Metodología 3. Evaluación de la sostenibilidad de sistemas agrícolas de fincas en misiones de Argentina, mediante el uso de indicadores (Sarandón, et al. 2003). *16*

3.5.4. Metodología 4. Criterios e indicadores para evaluar la sustentabilidad de plantaciones forestales comerciales de rápido crecimiento (Fierros y Rivera, 2007). *17*

3.5.5. Metodología 5. Fortalecimiento de una Metodología de Evaluación de Sustentabilidad a través de un Estudio de Caso en la Región Purhepecha, México (Astier y Altieri, 1999). *18*

3.6. INTERACCIONES DENTRO DEL SISTEMA AGROFORESTAL Y SU ESTADO NUTRIMENTAL 21

4. METODOLOGÍA 25

4.1. ELABORAR UN DIAGNÓSTICO SOBRE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD. 27

4.2. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD. 28

4.3. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS. 28

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 31

5.1. DIAGNÓSTICO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD. 32

5.2. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD 37

5.2.2. Características de los indicadores de sostenibilidad..... 37

5.2.3. Características de las mediciones del estado nutrimental 38

5.3. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS 41

5.3.1. Análisis de la relación entre los criterios e indicadores de sostenibilidad y las mediciones del estado nutrimental 41

5.4. INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD BASADO EN EL ESTADO NUTRIMENTAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL 47

5.4.1. Ventajas..... 47

5.4.2. Desventajas 48

5.5. PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD PLANTEADO 49

5.5.1. Medición y monitoreo (Punto 4 de la metodología del MESMIS) 51

5.5.2. Integración de resultados (Punto 5 de la metodología del MESMIS) 54

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58

7. ANEXO 1..... 59

8. LITERATURA CITADA 61

ÍNDICE CUADROS

CUADRO 1. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA 1: MODELIZACIÓN INTERACTIVA EN LA EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN, PRÁCTICAS DE MANEJO Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA *(DELGADO Y NÚÑEZ, 2004)*..... 32

CUADRO 2. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA 2: SISTEMA INTEGRAL DE EVALUACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE EN VENEZUELA (DELGADO Y CABRERA, 2005) 33

CUADRO 3. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA 3: EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS AGRÍCOLAS DE FINCAS EN MISIONES, ARGENTINA, MEDIANTE EL USO DE INDICADORES *(SARANDÓN, ET AL. 2003)* 34

CUADRO 4. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA 4: CRITERIOS E INDICADORES PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES DE RÁPIDO CRECIMIENTO *(FIERROS Y RIVERA, 2007)*. 35

CUADRO 5. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA 5: FORTALECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CASO EN LA REGIÓN PURÉPECHA, MÉXICO *(ASTIER Y ALTIERI, 1999)*..... 36

CUADRO 6. MATRIZ DE COMPARACIÓN Y ANÁLISIS ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDICIONES DEL ESTADO NUTRIMENTAL. 42

CUADRO 7. MATRIZ DE COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE ACUERDO A LOS ATRIBUTOS DEL MESMIS. 46

CUADRO 8. MATRIZ DE INTEGRACIÓN DE RESULTADOS. 59

ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 1. APORTE DE NUTRIENTES POR EL ESTRATO ARBÓREO Y LA CONSERVACIÓN DEL SUELO. 25

FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA. 30

FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA DEL MESMIS. 50

1. INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad es un concepto que surge con la necesidad de buscar correcciones a los efectos negativos sobre el medio ambiente, la economía y la sociedad del modelo de desarrollo dominante a nivel global. Por esta razón, este término está ligado a la búsqueda de alternativas viables de desarrollo, conocido como Desarrollo Sustentable, el cual se ha convertido en un objetivo global de la sociedad (Trujillo, 2010).

El modelo de desarrollo actual, en el que están basados la mayor parte de los sistemas convencionales de producción de alimentos, pone en riesgo los recursos naturales y sociales, generando desequilibrios y presiones insostenibles sobre los mismos. Con base en esta problemática, surgen modelos alternativos de producción, enfocados a la búsqueda de un desarrollo sostenible, entre ellos los sistemas agroforestales.

Sin embargo, se presenta el problema de asegurar que un sistema agroforestal está en concordancia con la característica de sostenibilidad, de acuerdo con esto se debe plantear la siguiente pregunta: ¿cómo saber que un sistema agroforestal es o no sostenible? De manera parcial Masera *et al.* (1999) y Altieri (2000) responden que cualquier intento dirigido a evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales debe combinar medidas de estabilidad productiva con mediadas de aceptación sociocultural, protección del ambiente y mejora económica, evaluando entonces, tres áreas fundamentales: ambiental, social y económica, cada una evaluada a través de ciertos criterios e indicadores.

Por lo anterior, se hace necesario tener indicadores que permitan hacer una correcta integración e interrelación de los factores para una adecuada medición. Como respuesta a esta necesidad se planteó definir un indicador de sostenibilidad para evaluar un sistema agroforestal con base en su estado nutrimental, debido a la importancia de éste estado como factor de la producción, a su grado de manipulación y a la relación que puede tener con otros factores tanto, ambientales como socioeconómicos.

Para cumplir con el objetivo, se planteó considerar las características para funcionar como un indicador de sostenibilidad y que además, pueda integrar otros indicadores tales como: rendimiento, incidencia de plagas y enfermedades, grado de dependencia de insumos externos, calidad de los productos, entre otros. Lo anterior, con el fin de conseguir mayor eficiencia en la evaluación de la sostenibilidad y que esta pueda emplearse para generar recomendaciones que permitan un mejor manejo y en el acercamiento a la condición de sostenibilidad.

Adicionalmente, cualquier indicador de sostenibilidad no es funcional si no es aplicado a una metodología que considere diversos indicadores. Para incorporar el indicador propuesto en una metodología de evaluación de sostenibilidad, se consideró la metodología propuesta por Masera *et al.* (1999), denominada MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad), la cual considera indicadores relacionados con los tres ejes y tiene la cualidad de ser cíclica.

2. OBJETIVO GENERAL

Definir el estado nutrimental de un sistema agroforestal como un indicador de sostenibilidad capaz de integrar, de forma directa o indirecta, otros indicadores propuestos en la metodología del MESMIS, y con base en esta metodología hacer una evaluación más eficiente.

2.1. Objetivos particulares

- Demostrar mediante análisis cualitativos la validez del estado nutrimental como un indicador eficaz, en la evaluación de la sostenibilidad del MESMIS.
- Definir cómo el estado nutrimental de un sistema agroforestal, pude relacionar diferentes indicadores dentro de la evaluación de sostenibilidad, con la finalidad de volverla más eficiente y facilitar la misma.
- Proponer un procedimiento para integrarlo dentro de la metodología de evaluación de sostenibilidad del MESMIS.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Definición de Sostenibilidad

Desde que inicia la conceptualización de la sostenibilidad, se dificulta generar una definición adecuada para el modelo de desarrollo actual, pero se puede entender de manera general, como la define Aguiar (2008), mencionando que el desarrollo sostenible es un asunto de equidad distributiva y de producción, es decir, de cómo compartir la capacidad de bienestar entre la gente de hoy y la gente del futuro, y hacerlo de manera adecuada.

La sostenibilidad se trata de nuestras obligaciones con las generaciones futuras, o, mejor dicho, con sus necesidades. A pesar de los problemas en generar una definición consensuada de sostenibilidad debido a la diversidad de puntos de vista, existen ciertas características en coincidencia dentro de esta diversidad de opiniones, tal y como lo observan De Camino y Müller (1993), al plantear que los elementos en común son:

1. Los recursos naturales, que son la base de la producción, son finitos e imponen límites que impiden el crecimiento indefinido. Estos recursos proporcionan bienes y servicios que pueden ser aprovechados, cuantificados y valorados. Además, proporcionan otros bienes y servicios no comercializables y no cuantificables directamente.

2. Estos recursos naturales deben permitir satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, además de las futuras. Siendo de vital importancia considerar el número de personas cuyas necesidades actuales y futuras hay que satisfacer.

3. Estos recursos naturales pueden ser ampliados por medio del cambio tecnológico e institucional y a través de la planificación de estrategias con escenarios futuros posibles.

La importancia de la sostenibilidad no es en sí su concepto, sino el entender los elementos y características que lo generan. Con esta idea, el desarrollo sostenible debe considerar que los recursos naturales son finitos, por lo que un uso irracional de ellos terminará por modificarlos, a tal grado que pierdan la cualidad de

satisfacer las necesidades de las generaciones futuras y quizá hasta de las actuales.

Por lo tanto, se deben buscar sistemas de producción que empleen tanto tecnología como estrategias de planeación diferentes al modelo de desarrollo convencional, para que el aprovechamiento de estos recursos se realice con el menor impacto ambiental posible, manteniendo y mejorando la calidad de estos recursos, además de satisfacer eficientemente las necesidades de la población.

Considerando las características para un modelo de desarrollo sostenible, surgen sistemas alternativos de producción de alimentos, como los sistemas agroforestales, que buscan el manejo exitoso de los recursos naturales con el objetivo de producir alimentos y generar otros bienes y servicios, mediante la incorporación de tecnologías y conocimientos para el aprovechamiento y planeación de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, así como de su interacción.

Por lo anterior, la importancia de la definición del concepto de sostenibilidad, radica básicamente en que para buscar esta condición en los sistemas productivos, es necesario entender las características elementales que lo conforman, y de esta forma trabajar en concordancia con ellas.

3.2. Desarrollo Sostenible

El costo del desarrollo como eje de la economía de mercado se ha basado en la destrucción de otras economías: la de los procesos naturales y la supervivencia

del hombre (Espino, 2005). Con esta idea surgen diversas definiciones de desarrollo sostenible. Al respecto, Masera *et al.* (1999), indica que el desarrollo sostenible es el proceso mediante el cual se cubrirían de manera permanente las necesidades materiales y espirituales de todos los habitantes del planeta, sin deterioro o incluso mejora de las condiciones socioambientales que le dan sustento. De esta manera el desarrollo sustentable puede considerarse como un proceso de cambio dirigido, donde son tan importantes las metas trazadas como el camino para lograrlas.

Las nociones de permanencia (en cuanto al cuidado adecuado del entorno socioambiental) y de equidad (en cuanto a la justa distribución intra e intergeneracional de costos y beneficios) del proceso son componentes indispensables de la definición de desarrollo sustentable. Así mismo, las metas no son estáticas, se redefinen continuamente como producto mismo del devenir social y de su interacción con el medio ambiente.

Los objetivos que debe buscar alcanzar el desarrollo sostenible, son:

- Asegurar la satisfacción de las necesidades humanas esenciales, comenzando por las necesidades de los más pobres.
- Promover la diversidad cultural y el pluralismo.
- Reducir las desigualdades entre individuos / regiones / naciones.
- Conservar y aumentar la base de recursos existente.

- Aumentar las posibilidades de adaptación a las perturbaciones naturales y antropogénicas.

- Desarrollar tecnologías eficientes y de bajo consumo de recursos, adaptadas a las circunstancias socioecológicas locales y que no signifiquen riesgos para las generaciones presentes y futuras.

- Generar estructuras productivas, de distribución y consumo que brinden los servicios y bienes necesarios, propicien el empleo total y el trabajo con sentido, con la finalidad de mejorar las capacidades de desarrollo de los seres humanos.

En México, el concepto de desarrollo sostenible está incluido en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1996), en el Artículo 3, inciso XI. Donde se define al desarrollo sostenible cómo el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas. Se fundamenta en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección de ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que no se compromete la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. En esta definición se resalta el hecho de que el desarrollo sostenible debe permitir satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

3.3. Indicadores de Sostenibilidad

Retomando el problema de la evaluación de sostenibilidad, se han señalado distintos retos que han sido poco abordados o incluso se han dejado de lado. Algunos mencionados por Masera *et al.* (1999), son la integración de indicadores y la interrelación entre ellos y no propiamente la elaboración de un listado grande de indicadores de sostenibilidad, así mismo Yepez (1997) habla de la necesidad de buscar la integración de un conjunto de indicadores para valorar la sostenibilidad.

En este punto, es importante definir ¿qué es un indicador? De camino y Müller (1994), señalan que es una o varias características del sistema que son susceptibles a ser medidas de forma cuantitativa, debe ser objetivo y reflejar características de sostenibilidad para el caso específico donde se use. Es decir, debemos calificar por lo menos una de las tres características mencionadas con anterioridad:

1. Los recursos naturales, son la base de la producción, de manera que al evaluar esta condición se está considerando la característica ambiental del sistema de producción.

2. La capacidad de que estos recursos naturales permitan satisfacer las necesidades de las generaciones actuales y de las futuras. Al evaluar esta condición, se está considerando el aspecto socioeconómico que puede proporcionar la forma de manejo que se le está otorgando al sistema o incluso mide la condición del sistema mismo de satisfacer estas necesidades.

3. Finalmente, se puede evaluar la capacidad del sistema de regenerar, e incrementar estos recursos naturales, midiendo la capacidad tecnológica y de planeación de estrategias que se emplean en el sistema, así como su capacidad de ajustarlas o cambiarlas por otras más eficientes.

Sin embargo, un indicador describe el proceso específico o un proceso de control. Los indicadores, por lo tanto, son particulares a los procesos de los que forman parte. Algunos indicadores apropiados para ciertos sistemas pueden ser inapropiados para otros (Masera *et al.*, 1999).

Por otro lado, Rendón (2004), dice que se deben diseñar metodologías más allá de la integración de variables de diferentes disciplinas con la finalidad de dar la impresión de que se trata de una metodología sistemática.

Los esfuerzos están ahora orientados a la búsqueda de indicadores que por sí mismos den cuenta de una serie de relaciones y dimensiones que valoren el progreso hacia un desarrollo sostenible.

En este sentido, se requiere la integración no sólo de variables relevantes, sino de un marco de análisis en el que seguramente se requerirá de técnicas cualitativas y cuantitativas que permitan diseñar indicadores vinculantes, fáciles de interpretar, y que permitan respaldar y valorar el efecto de cambios orientados hacia el desarrollo sostenible (Rendón, 2004).

3.4. Evaluación de Sostenibilidad

La evaluación de la sostenibilidad emerge como una de las herramientas más útiles para hacer operativo el sentido de éste concepto y para realzar las bondades sociales y ambientales de sistemas altamente integrados como los sistemas de producción de alimentos. Este tipo de evaluación permite clarificar y reforzar tanto los aspectos teóricos de la discusión del concepto de sostenibilidad, como formular recomendaciones técnicas y de política para el desarrollo de sistemas de manejo de recursos naturales sostenibles (Astier y Hollands, 2007).

Sin embargo, uno de los mayores retos que enfrenta la discusión sobre el desarrollo sostenible, es diseñar marcos operativos que permitan evaluar de manera tangible la sostenibilidad de diferentes proyectos, tecnologías, o agrosistemas (Masera *et al.*, 1999).

Las técnicas de medición de sostenibilidad en un sistema, implican el constante monitoreo de los indicadores y deben ser la integración de los resultados obtenidos de una manera efectiva, lo cual no es una tarea sencilla. Puede decirse que la investigación de resultados en el análisis de sostenibilidad es actualmente un área abierta de investigación, por lo que no existe un consenso o un método que sea preferido (Espinosa, 2001).

3.5. Metodologías para la evaluación de sostenibilidad

3.5.1. Metodología 1. La modelización interactiva en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo y en la transferencia de tecnología (Delgado y Núñez, 2004).

Se afirma que para evaluar y elaborar recomendaciones a cerca de sistemas de producción o prácticas de manejo sustentables, o ambas, se requiere de sistemas suficientemente sensibles e interactivos, y capaces de diagnosticar o predecir el comportamiento de los sistemas en el corto, mediano y largo plazo.

Una manera que proponen, para evaluar el desempeño de los sistemas de producción y prácticas de manejo en diferentes condiciones agroecológicas es mediante modelos de simulación, elaborados a partir de datos obtenidos a través de experimentos e impulsados por variables importantes, como el clima, requerimientos de cada cultivo, considerando los procesos físicos, químicos, y/o biológicos que afectan el desempeño del sistema suelo-cultivo-clima-manejo. Parten de dos premisas, la primera enuncia que la sostenibilidad de los sistemas agrícolas es un aspecto necesario a ser evaluado para la adopción efectiva de tecnologías apropiadas, y la segunda que, los modelos de simulación, constituyen un mecanismo de integración de la información generada, de evaluación del impacto de tecnologías en áreas especificas, y de manera global mencionan que son una herramienta para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo en cada situación en particular.

Las consideraciones para el desarrollo y potenciación del alcance de los modelos, son seleccionar o detectar, caracterizar, y cuantificar los procesos claves que permitan la asociación o interactividad efectiva y/o real entre los componentes del sistema suelo-cultivo-clima y manejo. La selección, y caracterización de procesos y propiedades de suelo, cultivo, y clima que son afectados por la acción o efecto de los sistemas de producción o prácticas de manejo, y que afectan el desempeño de éstos, en el corto, mediano, y largo plazo.

Deben considerarse aspectos que reflejen la variabilidad espacial y temporal de los factores suelo y clima, que afecten los procesos importantes del suelo e impacten el desempeño de los cultivos en sus rendimientos y calidad de cosechas.

Los modelos deben hacer predicciones en una base diaria, para poder predecir el impacto de prácticas de manejo en cultivos de ciclo corto o de crecimiento rápido.

Deben considerar variables y/o procesos del suelo, cultivo y/o clima que individualmente, o asociadas entre ellas, puedan ser empleadas en el desarrollo de índices de sostenibilidad. Así como, considerar aspectos claves morfo-fisiológicos que permitan la diferenciación en crecimiento, desarrollo, requerimientos de agua, nutrimentos, clima y tolerancia a estrés, en los diversos cultivos.

3.5.2. Metodología 2. Un Sistema Integral de Evaluación y Transferencia de Tecnologías para una Agricultura Sustentable en Venezuela *(Delgado y Cabrera, 2005)*.

Los autores mencionan que la determinación de sostenibilidad de un sistema de producción debe estar basada en la evaluación del efecto de la misma en el mejoramiento o mantenimiento de las características deseables del sistema suelo-ambiente, conservación de los recursos naturales y mejoramiento o mantenimiento de la condición socio-económica de los productores agrícolas.

También, se indica que la evaluación del impacto de una tecnología o sistema de producción en el ambiente físico, requiere tanto de la valoración o cuantificación de los cambios en propiedades importantes del suelo, así como el efecto de esas variaciones en la productividad del sistema. Así mismo, es necesaria la valoración del efecto de los sistemas de producción en la contaminación de fuentes de agua y atmósfera y los costos asociados a la recuperación y/o saneamiento de los mismos.

Así mismo, afirman que otro de los componentes a considerar en la evaluación integral de sostenibilidad lo constituye el balance de egresos e ingresos asociados a la producción agrícola.

También, destacan la necesidad del desarrollo de sistemas integrales de evaluación y transferencia de TS (Tecnologías sustentables), en cuanto a enseñanza se refiere con suficiente sensibilidad para que sea aplicable en diferentes condiciones agro ecológicas en un amplio rango de condiciones socio-

económicas de los productores. Dicho sistema integral deberá estar fundamentado en:

1. La integración cuantitativa e interactiva de los principales factores y procesos biofísicos y bióticos que afectan el desempeño de los sistemas de producción; así como la consideración del impacto de estos sistemas de producción en las principales características del sistema suelo-ambiente en el corto, mediano, y largo plazo.

2. La consideración de los principales atributos de suelo y clima que reflejan o caracterizan la variación natural espacio-temporal dentro y entre unidades de producción.

3. Sistemas de información geográfica de características espaciales y temporales relevantes e impactantes de suelo, clima, y manejo de los sistemas agrícolas.

4. Índices integrales de evaluación de sostenibilidad.

5. Capacidad de adopción de tecnologías y capacidades económicas de los productores.

6. Tecnologías modernas de Información y comunicación.

Para los autores, la importancia de los modelos de simulación, se fundamenta en:

1. Su condición de elemento integrador, e interactivo de los diferentes componentes y procesos que ocurren en los agro ecosistemas.

2. Por la incorporación de procesos en escalas de tiempo tan cortos o más cortos que el ciclo de vida de los cultivos (días) y períodos suficientemente largos para permitir la evaluación de procesos menos dinámicos.
3. Considerar las propiedades más importantes de suelo y clima.

Los modelos deben ser capaces de predecir procesos y efectos desde el corto plazo, hasta el mediano, y largo plazo. Planteando, que las consideraciones en el desarrollo de modelos de simulación, que determinan su alcance y limitaciones del mismo, serían:

1. Predicción de disponibilidad de nutrimentos y agua en el suelo en una base de horizonte por horizonte.

2. Determinación de parámetros o procesos del sistema suelo-cultivo afectados en el corto, mediano, y/o largo plazo.

3. Establecimiento del efecto de las propiedades físicas y químicas de suelo, a nivel de horizonte, en el desarrollo radical de los cultivos.

4. Incorporación de características de los cultivos que expresen adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima, así como las características de crecimiento y requerimientos nutricionales de los diferentes cultivos integrantes de los sistemas de producción.

5. Integración de las variables importantes de suelo y clima, que expresen la variabilidad espacial de esos componentes y que permitan que el modelo sea sensible a cambios espaciales y temporales de estos componentes.

6. Inclusión de variables impulsoras de los principales procesos en el suelo, que sean alterables por condiciones de manejo.

7. integrar los efectos de prácticas de manejo o tecnologías y de utilización de insumos con potencialidad de adopción de acuerdo a las posibilidades socio-económica de los productores.

8. Considerar el efecto interactivo de las características de suelo y clima en el desempeño de un sistema de producción, así como el impacto de este en las principales propiedades y características del suelo, y del medio ambiente.

9. Considerar el efecto de factores bióticos sobre procesos, y variables del suelo, y cultivo que alteran el desempeño de los sistemas de producción.

3.5.3. Metodología 3. Evaluación de la sostenibilidad de sistemas agrícolas de fincas en misiones de Argentina, mediante el uso de indicadores *(Sarandón, et al. 2003)*.

Según Bejarano (1998), menciona que la evaluación de la sostenibilidad de agroecosistemas requiere transformar aspectos complejos en otros más simples, objetivos y generales que permitan detectar tendencias a nivel de sistema, denominados indicadores. Adicionalmente, busca una evaluación de la sostenibilidad bajo un enfoque holístico y sistémico, donde predomine el análisis multicriterio.

Para la construcción de indicadores, se deberán obtener datos mediante encuestas, entrevistas y observaciones de campo, los datos se estandarizan y transforman a una escala que va de de 0 a 4, siendo 4 el de mayor valor de sostenibilidad y 0 el más bajo. Todos los valores, independientemente de su unidad original, se transforman y adecuan a esta escala.

Posteriormente, se ponderan los indicadores multiplicando el valor de la escala por un coeficiente de acuerdo a la importancia relativa de cada variable respecto a la sostenibilidad. La ponderación la realiza por discusión y consenso entre los integrantes del grupo de trabajo. El peso de cada indicador refleja la importancia del mismo en la sostenibilidad.

Está claro que los resultados pueden variar de acuerdo con el peso otorgado a los diferentes indicadores o dimensiones de análisis hubiera sido diferente.

3.5.4. Metodología 4. Criterios e indicadores para evaluar la sustentabilidad de plantaciones forestales comerciales de rápido crecimiento *(Fierros y Rivera, 2007)*.

Con esta propuesta se busca hacer operativo el concepto de desarrollo sustentable y su concomitante en el sector forestal. Para el manejo forestal sustentable (MFS), se utilizan principios, criterios e indicadores (P, C & I), que contemplan aspectos sociales, ambientales y económicos.

En este trabajo se generó una metodología para definir un conjunto genérico de P, C & I que integre aspectos ambientales, económicos, sociales, legales,

institucionales y de planificación que sirva para evaluar el nivel de sostenibilidad de proyectos de PFC de rápido crecimiento, y para desarrollar esta herramienta para proyectos específicos.

El autor afirma, apoyándose en Mendoza *et al*. (1999), que la relevancia y solidez del análisis multicriterio (AMC) depende finalmente del conocimiento y experiencia del equipo experto formado.

El autor concluye que la metodología utilizada en el desarrollo del conjunto genérico resultó eficiente, y recomienda su uso para la formulación de conjuntos genéricos para otros tipos de sistemas productivos, como podrían ser sistemas agrícolas o agroforestales.

3.5.5. Metodología 5. Fortalecimiento de una Metodología de Evaluación de Sustentabilidad a través de un Estudio de Caso en la Región Purhepecha, México *(Astier y Altieri, 1999).*

Éste es un trabajo basado en la metodología del Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo, incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) a sistemas agrícolas, forestales y pecuarios manejados colectiva o individualmente. Teniendo como objetivo que lejos de constituir un instrumento meramente "calificador" de opciones, la metodología de evaluación debe servir de apoyo para hacer operativo el concepto de sostenibilidad en la búsqueda de un desarrollo social más equitativo y ambientalmente sano de las comunidades rurales.

El MESMIS propone una estructura flexible, adaptada a diferentes niveles de información y capacidades técnicas. Tiene una orientación práctica y se basa en un enfoque participativo mediante el cual se promueve la discusión y retroalimentación entre evaluadores y evaluados. Intenta además brindar una visión interdisciplinaria que permite entender de manera integral las limitantes y posibilidades para la sostenibilidad de los sistemas de manejo.

Finalmente, propone la comparación de los sistemas de manejo vigentes y sistemas alternativos, para permitir:

- Examinar en qué medida estos últimos sistemas son efectivamente más sustentables
- Identificar los puntos críticos para la sostenibilidad a fin de impulsar cambios.

Los objetivos del trabajo elaborado por la organización que lo generó, son:

1. Evaluar la sostenibilidad entre el sistema de manejo "año y vez" tradicional y alternativo en el Ejido de Casas Blancas, ubicado en la región Purépecha, Michoacán.
2. Retroalimentar y fortalecer la propia metodología MESMIS, específicamente en el proceso de implementación en el contexto campesino.

Con lo que pretendieron adecuar la metodología MESMIS para la región Purépecha, de Michoacán y al contexto campesino, así como obtener propuestas concretas para mejorar la sostenibilidad de los sistemas temporaleros.

A través de la aplicación del marco MESMIS en un estudio de caso, buscaron evaluar y mejorar aspectos metodológicos particulares del mismo, como:

a. Derivación y selección de los puntos críticos e indicadores con el equipo evaluador integrado por técnicos y productores.

b. Medición de indicadores.

c. Discusión y presentación de resultados dentro de la comunidad campesina y el equipo técnico.

d. Retroalimentación de la propia metodología a partir de la experiencia obtenida en el estudio de caso.

Evaluaron la sostenibilidad de los sistemas agrícolas siguiendo los pasos del MESMIS:

1. Caracterización de la unidad de producción e identificación de los subsistemas de producción.
2. Selección del subsistema agrícola de año y vez como objeto de estudio.
3. Caracterización de los sistemas de manejo tradicional y convencional.
4. Identificación de los puntos críticos e indicadores estratégicos.
5. Medición y monitoreo de los indicadores seleccionados.
6. Análisis integral y comparativo de los sistemas de manejo.

En el área social, las herramientas básicas utilizadas fueron la entrevista y la revisión de información estadística municipal; además de la participación de los productores en los talleres participativos y en pláticas informales con el

comisariado ejidal y productores líderes o innovadores del ejido. La entrevista recopiló información con el fin de conocer los componentes de la unidad de producción y la relación entre los componentes.

Por otro lado, la herramienta básica utilizada para recopilar información en el área económica fue una encuesta sobre el sistema agrícola y parte de la entrevista para el área social. La encuesta se diseñó especialmente para registrar todas las labores e insumos utilizados en el subsistema agrícola.

Finalmente, las herramientas utilizadas para recopilar información del área ambiental, fue la encuesta del sistema agrícola, muestreos en las parcelas (para la estimación de rendimientos y biomasa total), recorridos de campo con los agricultores, investigación bibliográfica de consulta a investigaciones.

Para estimar rendimientos y biomasa de partes útiles aplicaron la metodología "Peso de muestras de mazorcas y rastrojo en campo". Algunas determinaciones se realizaron de forma indirecta con base bibliográfica.

3.6. Interacciones dentro del sistema agroforestal y su estado nutrimental

Existen distintas interacciones entre los diferentes estratos de vegetación dentro del sistema agroforestal, las cuales inciden directamente en el estado nutrimental del mismo, como lo plantean Jiménez *et al.* (2001) y Pezo e Ibrahim (1999), estas interacciones se describen a continuación:

1. Interacciones estrato arbóreo – suelo

    - Protección contra erosión hídrica y eólica.

- Sombra.
- Aportación de materia orgánica en las capas superficiales.

2. Interacciones entre el estrato arbóreo – estrato herbáceo
    - Bombeo, reciclaje y aportación de nutrientes.
    - Bombeo de agua.
    - Competencia por luz y CO_2.
    - Alelopatía.

De estas características, destacan el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad, las cuales están ligadas a la retención del suelo y al aporte de materia orgánica y de nutrientes, por parte del estrato arbóreo del sistema agroforestal (Jiménez *et al.*, 2001), las cuales se describen a continuación:

- El sistema radical del estrato arbóreo del sistema agroforestal, mejora las propiedades físicas del suelo, principalmente la infiltración que reduce o evita escorrentía superficial y la disolución y arrastre de sedimentos. Además, mejora y conserva de forma óptima el ciclo de nutrientes, al reducir pérdidas por lixiviación y evitando que sustancias potencialmente peligrosas, puedan contaminar el agua subterránea.
- El estrato arbóreo también, aumenta la cantidad de nutrientes y la disponibilidad de algunos en la parte superficial del suelo, sobre todo del nitrógeno. Esto se debe principalmente, a que los árboles pueden proveer

este nutriente mediante dos vías: fijación biológica por bacterias u hongos asociadas a sus raíces y absorción de diferentes formas de nitrógeno de capas profundas del suelo, donde las raíces del estrato herbáceo no llegan.

- La sombra producida por el estrato arbóreo, afecta la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Además, el microclima, provocado por la humedad y la temperatura, es más favorable a la actividad biológica de la micro y macrofauna, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno del suelo.

- Transformación de formas inorgánicas de fósforo poco disponibles a formas disponibles para las plantas.

- Redistribución de los cationes potasio, magnesio y calcio en el perfil de suelo.

- Mejoramiento de la agregación / porosidad del suelo.

- Reducción de la erosión dentro del sistema, al funcionar como barrera rompe vientos, y al reducir el impacto de las gotas de lluvia en el suelo, así como la velocidad de su escurrimiento.

Por lo anterior, el estrato arbóreo del sistema agroforestal realiza grandes aportes al estado nutrimental del sistema, mientras que el estrato herbáceo del sistema realiza aportes al equilibrio nutrimental del sistema, más aún si estas son leguminosas (Pezo e Ibrahim, 1999).

Sin embargo, de acuerdo a Jiménez *et al.* (2001), las especies agroforestales difieren en su capacidad para influir en las diferentes características del suelo. Al respecto, Pezo e Ibrahim (1999), mencionan que el "efecto de bombeo" de nutrientes, no ocurre en todas las condiciones, pues su presencia dependerá de la morfología del sistema radicular de las especies componentes del sistema, del tipo de material usado para el establecimiento del estrato arbóreo y del manejo de defoliación que se les aplique. Por esta razón, cada sistema agroforestal se debe evaluar de acuerdo a sus características y condiciones propias.

De acuerdo a lo expresado en los párrafos anteriores, un sistema agroforestal tiene diversas interacciones que relacionan el estrato herbáceo con el estrato arbóreo y ambos estratos en su relación con el suelo (Figura 1). Estas interacciones tienen una fuerte incidencia directamente en el estado nutrimental del sistema, lo que nos conduce a que el estado nutrimental de un sistema agroforestal es una característica importante de las relaciones que se están generando entre las diferentes especies que habitan el sistema.

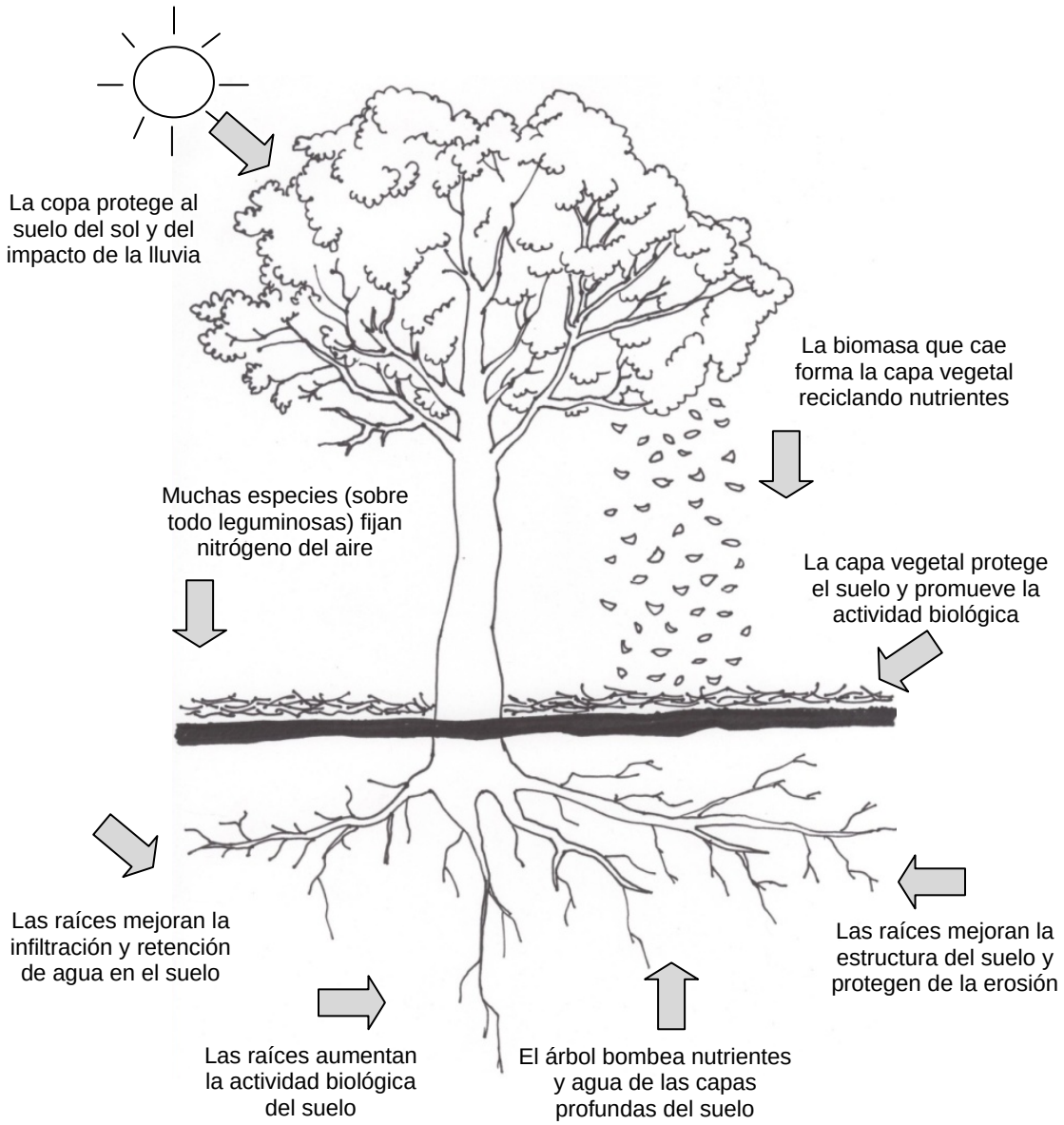


Figura 1. Aporte de nutrientes por el estrato arbóreo y la conservación del suelo.

Fuente: Modificado de Geilfus F. 1994. El Árbol al servicio del Agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural. CATIE. Costa Rica

4. METODOLOGÍA

Para elaborar una metodología que pueda definir un indicador de sostenibilidad a partir del estado nutrimental en un sistema agroforestal, se tomó como referencia el protocolo de un estudio de revisión de casos, descrito por Méndez *et al.* (1990).

Esta es una estructura que revisa la evolución del fenómeno estudiado a partir de información relacionada con el tema y de la cual se puedan obtener ciertas conclusiones. Siguiendo este método, se revisaron investigaciones realizadas por otros autores, analizando e integrando los resultados para obtener nuevas aportaciones. Una vez obtenida la información fue necesario ordenar, clasificar y agrupar los resultados conforme a criterios pertinentes al objeto de esta investigación.

Algunas de las ventajas de este protocolo de investigación utilizado, son:

1. Permitir realizar la búsqueda sistemática de asociaciones entre variables, para el caso de la presente investigación se utilizaron como variables la base metodológica, los criterios e indicadores de sostenibilidad, así como las características de los indicadores establecidos por cada autor y las características de las mediciones del estado nutrimental para un sistema agroforestal, de esta forma estas variables fueron utilizadas para definir los resultados y las conclusiones.

2. Permitir determinar relaciones temporales entre las investigaciones anteriores con la presente investigación y de esta manera sugerir una hipótesis con temporalidad adecuada.

3. Su diseño y ejecución, para este tipo de investigaciones es rápido y económico.

Algunas de las desventajas de este protocolo de investigación son:

1. La calidad de los resultados dependerá del tipo y calidad de información obtenida.

2. Parte de la validez de las conclusiones está sustentada en los resultados y supuestos elaborados en la información consultada.

Para definir el estado nutrimental de un sistema agroforestal como un indicador de sostenibilidad capaz de integrar, de forma directa o indirecta, otros indicadores propuestos en la metodología del MESMIS, y tomando como base el protocolo descrito anteriormente, se requirió de aplicar las siguientes fases:

4.1. Elaborar un diagnóstico sobre metodologías de evaluación de sostenibilidad.

El criterio más importante considerado fue las ventajas y desventajas de distintas metodologías para evaluar sostenibilidad, las cuales han sido elaboradas bajo diferentes condiciones ambientales, económicas y sociales de América Latina. Se consideraron los siguientes puntos:

- La base metodológica que sustenta la propuesta de cada autor.
- Los criterios e indicadores de sostenibilidad utilizados en cada metodología.
- Las ventajas y desventajas de las diferentes metodologías para evaluar sostenibilidad analizadas.

En esta fase se obtuvo como producto una matriz de análisis, donde se sintetizaron las principales características para cada uno de los puntos evaluados.

4.2. Definición de las características de los indicadores de sostenibilidad.

Se definieron las formas de evaluar la nutrición vegetal del sistema agroforestal, en cuanto a las variables que puede arrojar y los datos que se pueden analizar, así como la relación que podrían tener con otras variables en el sistema de manejo agroforestal.

4.3. Comparación y análisis.

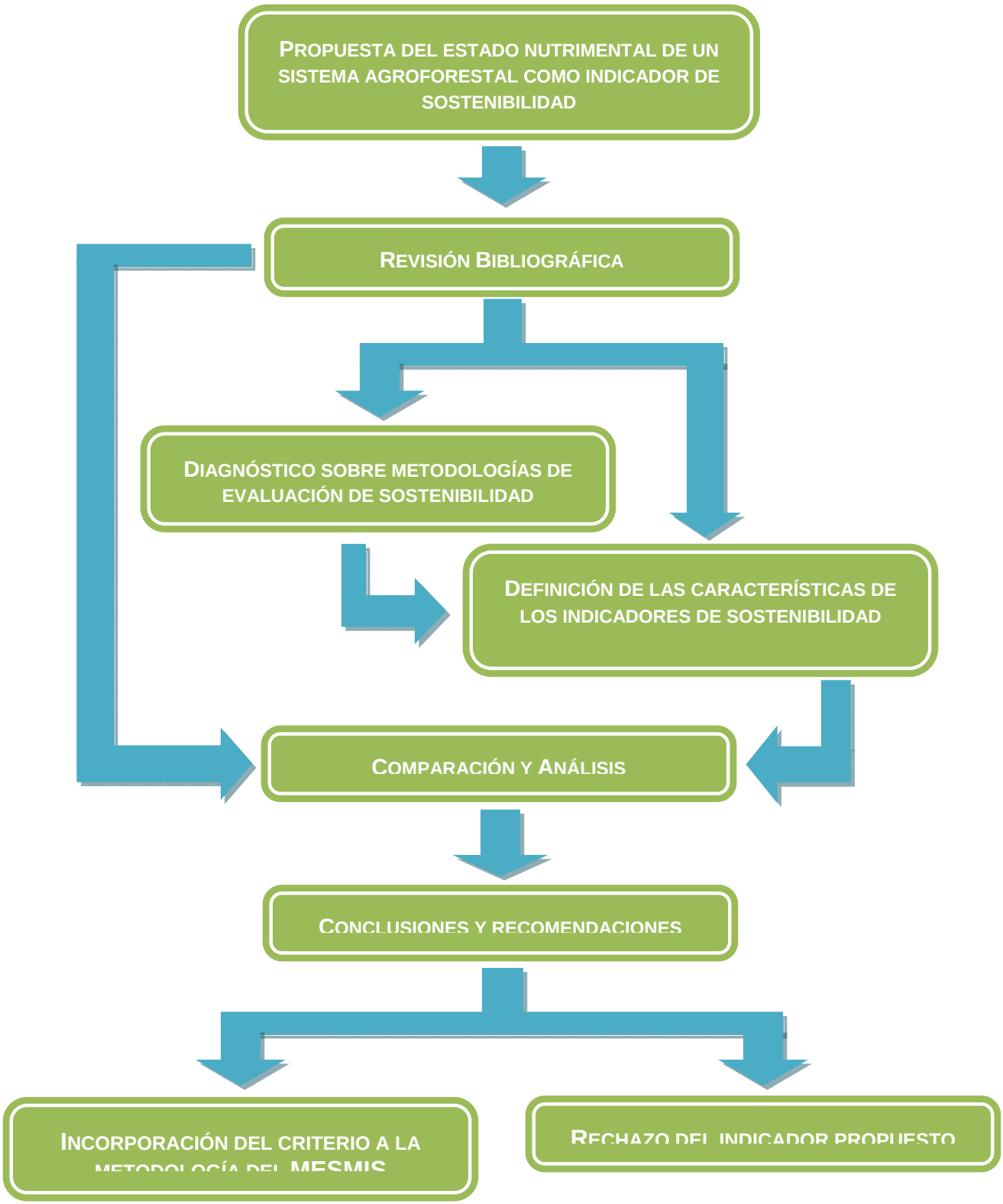
Con base en las consideraciones generadas por el diagnóstico, y las variables que se obtienen con la evaluación del estado nutrimental del sistema agroforestal, se evaluó mediante matrices comparativas, si éstas variables se pueden considerar como un indicador de sostenibilidad viable y eficiente, para ser aplicado en una metodología de evaluación de esta condición.

Finalmente, se buscó que el indicador propuesto se integre dentro de la metodología propuesta por el MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad). Esta metodología divide el proceso de evaluación en seis pasos (Masera *et al.,* 1999):

1. Determinación del objeto de evaluación. En este paso se definen los sistemas de manejo que se han de evaluar, sus características y el contexto socioambiental de la evaluación.
2. Determinación de los puntos críticos que pueden incidir en la sostenibilidad de los sistemas de manejo que se van a evaluar.

3. Selección de indicadores. Aquí se determinan los criterios de diagnóstico y se derivan los indicadores estratégicos para llevar a cabo la evaluación.
4. Medición y monitoreo de los indicadores. Este paso incluye el diseño de los instrumentos de análisis y la obtención de la información deseada.
5. Presentación e integración de resultados. Aquí se compara la sostenibilidad de los sistemas de manejo analizados y se indican los principales obstáculos para la misma, así como los aspectos que más la favorecen.
6. Conclusiones y recomendaciones. Por último, en este paso se hace una síntesis del análisis y se proponen sugerencias para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas de manejo, así como para mejorar el proceso mismo de evaluación.

Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la revisión bibliográfica realizada sobre cinco metodologías de evaluación de sostenibilidad, se generaron matrices de análisis donde se encuadraron la Base metodológica que emplea cada una, los criterios o indicadores o la metodología que utiliza y finalmente se establecieron las ventajas y desventajas observadas en cada metodología. Posteriormente se definieron las características que deben cumplir los indicadores de sostenibilidad, establecidas a partir de la revisión bibliográfica y los resultados de las matrices de análisis previamente generadas.

Finalmente, se realizó una comparación y un análisis de entre los criterios e indicadores de sostenibilidad y las mediciones del estado nutrimental. Con estos insumos se pudo definir si el estado nutrimental de un sistema agroforestal, resulta adecuado para utilizarse como indicador dentro de una evaluación de sostenibilidad del sistema.

A continuación se presentan las matrices (cuadro 1 al cuadro 5), las cuales integran las principales características de las metodologías analizadas en el presente trabajo.

5.1. Diagnóstico de las metodologías de evaluación de sostenibilidad.

Cuadro 1. Análisis de la Metodología 1: Modelización Interactiva en la Evaluación de Sustentabilidad de Sistemas de producción, prácticas de manejo y transferencia de tecnología *(Delgado y Núñez, 2004)*.

Base metodológica	Criterios o indicadores utilizados en la metodología	Ventajas y Desventajas observadas en la metodología
Esta metodología consideró como premisa que los modelos de simulación constituyen un mecanismo de integración de la información generada, de evaluación del impacto de tecnologías en áreas específicas, y en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo en cada situación en particular. Además, consideró la selección, caracterización, y cuantificación de procesos importantes como el clima y requerimientos de cada cultivo, considerando los procesos físicos, químicos, y biológicos que afectan el desempeño del sistema *suelo-cultivo – clima – manejo* de los sistemas. Los autores concluyeron que la entrada de N disponible al sistema, vía fertilización nitrogenada es de gran importancia debido a que permite la evaluación de: - Las prácticas relacionadas con época de aplicación del elemento durante el ciclo de cultivo. - Dosis del elemento en diferentes condiciones de suelo y clima.	Esta metodología planteó el uso de variables que reflejen la movilidad espacial y temporal de los factores suelo y clima y que afecten los procesos importantes del suelo e impacten el desempeño de los cultivos en sus rendimientos y calidad de cosechas, como lo son las propiedades físico – químicas del suelo y las condiciones de clima y agua. Los indicadores empleados por esta metodología fueron: - N disponible. - Disponibilidad de agua. - Fertilización nitrogenada. - Incorporación de residuos de cosecha bajo diferentes tipos de labranza. - Materia orgánica en suelo. - Características del suelo. - Características del clima.	**Ventajas** - Al ser modelos de simulación, podrá calcular de forma más eficiente los escenarios futuros de cambio. - Pueden considerarse una gran cantidad de variables. **Desventajas** - Su utilización sólo podrá realizarse por un experto. - La interpretación de los resultados puede ser complicada, así como su análisis y utilización para la generación de recomendaciones.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Cuadro 2. Análisis de la Metodología 2: Sistema Integral de Evaluación y Transferencia de Tecnologías para una Agricultura Sustentable en Venezuela (Delgado y Cabrera, 2005)

Base metodológica	Criterios o indicadores utilizados en la metodología	Ventajas y Desventajas observadas en la metodología

La metodología estableció que se deben medir los cambios en las propiedades importantes del ambiente por el uso de la tecnología o el manejo, como la fertilidad del suelo, la retención e infiltración del agua, la capacidad de los ecosistemas para mantener la fauna y la flora silvestre, así como el efecto de esos cambios en el impacto al ambiente y la productividad del sistema, incluyendo además, el balance de egresos e ingresos asociados a la producción agrícola.
 	
Por lo anterior, planteó que la determinación de la sostenibilidad de un sistema de producción, práctica de manejo o tecnología agrícola, debe estar basada en la evaluación del efecto de las prácticas de manejo en:
 	
- El mejoramiento o mantenimiento de las características deseables del sistema suelo ambiente.
- La conservación de los recursos naturales.
- El mejoramiento o mantenimiento de la condición socio-económica de los productores agrícolas.
	Los indicadores empleados por esta metodología fueron:
	
	- Características espaciales y temporales del clima.
	
	- Características socioeconómicas:
	  - Creencias y cultura.
	  - Formación.
	  - Experiencia.
	  - Capacidad.
	  - Economía.
	  - Expectativas.
	
	- Características bióticas y abióticas del sistema de producción:
	  - Malezas.
	  - Plagas.
	  - Enfermedades.
	  - Fertilizantes.
	  - Riego.
	
	Los autores sugirieron la participación inicial y activa del productor en la selección de los sistemas o tecnologías a evaluar.
		Ventajas
		- Evalúa el efecto de las prácticas de manejo en el sistema.
		
		- Se considera el balance financiero del sistema.
		
		- Se sugiere la participación activa del mismo productor.
		
		Desventajas
		- Para el efecto, se tendrá que evaluar por varios años o se tendrá que realizar simulación, lo que complicará su utilización.
		
		- La participación activa del productor en la evaluación de sostenibilidad del sistema productivo, puede generar sesgos en los resultados finales. Se requerirán ajustes a la metodología que sean capaces de eliminar estos sesgos.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Cuadro 3. Análisis de la Metodología 3: Evaluación de la Sustentabilidad de Sistemas Agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores *(Sarandón, et al. 2003)*

Base metodológica	**Criterios o indicadores utilizados en la metodología**	**Ventajas y Desventajas observadas en la metodología**
Esta metodología estableció al indicador como una variable, seleccionada y cuantificada que hace clara una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable, así mismo, los autores indican que es posible un análisis que tenga en cuenta el cumplimiento de varios objetivos a la vez. - Los datos se obtienen mediante encuestas, entrevistas y observaciones de campo. - Todos los valores, independientemente de su unidad original, se transforman o adecuan a una escala establecida. - Los indicadores se ponderan multiplicando el valor de la escala por un coeficiente de acuerdo a la importancia relativa de cada variable respecto a la sostenibilidad. Los resultados obtenidos con esta metodología, concluyeron en la utilidad de emplear un enfoque sistémico y holístico, con una óptica multicriterio para abordar la multidimensión de la sostenibilidad.	<u>Dimensión económica:</u> a) Autosuficiencia alimentaria. <u>Dimensión ecológica:</u> a) Conservación de la vida del suelo. - Manejo de la cobertura vegetal. - Rotación de cultivos. - Diversificación de cultivos. b) Riesgo de erosión. - Pendiente predominante. - Cobertura vegetal. - Orientación de los surcos. c) Manejo de la Biodiversidad. - Biodiversidad temporal. - Biodiversidad espacial. <u>Dimensión Socio-cultural:</u> a) Satisfacción de necesidades básicas. - Vivienda. - Educación. - Acceso a la salud y cobertura sanitaria. - Servicios. b) Aceptabilidad del sistema productivo. c) Integración social. d) Conocimiento y conciencia ecológica.	**Ventajas** - Busca sencillez y practicidad en la evaluación, planteando el uso de indicadores fáciles de obtener e interpretar. **Desventajas** - El obtener los datos mediante encuestas, entrevistas y observaciones de campo, puede resultar en subjetividades y sesgos en la información obtenida y por lo tanto en los resultados generados. - La ponderación para obtener una escala igual para todos los datos puede llevar a resultados poco fundamentados, con el riesgo de que además estos sean erróneos.

Se observó que los resultados generados por esta metodología, podrían haber variado si el peso otorgado a los diferentes indicadores o dimensiones de análisis hubiera sido diferente.		

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Cuadro 4. Análisis de la Metodología 4: Criterios e indicadores para evaluar la sustentabilidad de plantaciones forestales comerciales de rápido crecimiento *(Fierros y Rivera, 2007)*.

Base metodológica	Criterios o indicadores utilizados en la metodología	Ventajas y Desventajas observadas en la metodología
Los autores en esta metodología, propusieron que una de las propuestas para hacer operativo el concepto de desarrollo sustentable, es la utilización de: - Principios. - Criterios. - Indicadores. Plantearon además, que estos tres conceptos anteriores deben abarcar los tres ejes de la sostenibilidad, los cuales son aspectos sociales, ambientales y económicos. Los autores concluyeron con el uso de su metodología que la relevancia y solidez del análisis multicriterio (AMC) depende finalmente del conocimiento y experiencia del equipo experto formado.	Los indicadores empleados por esta metodología fueron: 5 principios. 25 criterios. 82 indicadores. El conjunto desarrollado por esta metodología integró los siguientes aspectos: - Ambientales. - Económicos. - Sociales. - Legales. - Institucionales. - Planificación.	**Ventajas** - Utiliza las tres áreas que abarca el concepto de sostenibilidad, el área ambiental, el área económica y el área social. **Desventajas** - No desarrolla claramente la metodología. - Se requiere de un equipo multidisciplinario de expertos, quienes apliquen la metodología para evaluar la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Cuadro 5. Análisis de la Metodología 5: Fortalecimiento de una Metodología de Evaluación de Sustentabilidad a través de un estudio de caso en la región purépecha, México *(Astier y Altieri, 1999)*.

Base metodológica	Criterios o indicadores utilizados en la metodología	Ventajas y Desventajas observadas en la metodología
Los autores de la metodología, proponen el uso de la metodología MESMIS, la cual indica la comparación entre los sistemas de manejo vigentes y sistemas alternativos. Con la aplicación de esta metodología los autores mencionan que el procedimiento permite: - Examinar en qué medida estos últimos sistemas son efectivamente más sustentables. - Identificar los puntos críticos para la sostenibilidad a fin de impulsar cambios. Esta metodología se basa en un sistema mediante atributos, para enfocar la evaluación en los aspectos sistémicos que son importantes para que el sistema funcione adecuadamente, que incluye criterios de diagnóstico traducen estas propiedades sistémicas en elementos más concretos y representan un puente para llegar a los indicadores que evalúen tres áreas de la sostenibilidad: - Área social. - Área económica. - Área ambiental.	Atributos - Productividad. - Estabilidad. - Adaptabilidad. - Equidad. - Autogestión. Criterios - Retornos. - Eficiencia. - Conservación. - Diversidad. - Distribución de costos y beneficios. - Participación. - Capacidad de cambio e innovación. - Autosuficiencia. - Organización.	**Ventajas** - Utiliza las tres áreas que abarca el concepto de sostenibilidad. **Desventajas** - Los autores plantean obtener la información mediante encuestas, entrevistas y observaciones de campo, puede resultar en subjetividades y sesgos en la información obtenida y por lo tanto en los resultados generados.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

5.2. Definición de las características de los indicadores de sostenibilidad

5.2.2. Características de los indicadores de sostenibilidad

Con base en la revisión y análisis de las metodologías utilizadas para la evaluación de sostenibilidad, así como de la revisión bibliográfica, se propuso el siguiente listado, considerando las principales características que un indicador de sostenibilidad debe reunir:

1. Estar basado en información directa y confiable.
2. Debe ser de utilidad para la toma de decisiones en cuanto a las prácticas de manejo de los sistemas agroforestales.
3. Evaluar los tres ejes del concepto de sostenibilidad.
4. Considerar la mayor cantidad de variables posible, y la interacción entre ellas, sin restarle practicidad al indicador o a la metodología.
5. Evaluar el efecto de los cambios que sucedan dentro del sistema (en sus tres áreas: ambiental, económica y social), con el cambio en las prácticas de manejo.
6. Ser preferentemente aplicable en un amplio rango de ecosistemas, condiciones socioeconómicas y culturales.
7. Sencillez y practicidad en la evaluación, al ser susceptible de monitorear y basado en información fácilmente comparable.
8. Ser sencillo de entender y centrarse en aspectos prácticos y claros, con el fin de facilitar la participación de la población local.

Por otra parte, Masera *et al.* (1999), define 5 atributos a ser medidos por indicadores, dentro del MESMIS, para evaluar la sostenibilidad de un sistema de producción de alimentos:

1. Productividad.
2. Estabilidad.
3. Adaptabilidad.
4. Equidad.
5. Autogestión.

5.2.3. Características de las mediciones del estado nutrimental

Como resultado de la revisión bibliográfica, se estableció que debido a la relación existente entre los nutrientes presentes en el suelo y la planta, la forma más efectiva de conocer el estado nutrimental de un sistema agroforestal es el realizar tres análisis, uno al suelo, otro a la planta y uno que evalúe de forma cualitativa, las interacciones tanto positivas como negativas que se puedan presentar entre los diferentes componentes del sistema.

Análisis de suelo. Mediante este análisis, el estado nutrimental del suelo puede ser evaluado e incluso se puede pronosticar con un porcentaje alto de veracidad el éxito de establecer uno u otro cultivo. Este análisis, es especialmente útil, debido a que se puede estimar el grado de afectación que se está produciendo en el suelo por causa de las prácticas de manejo, especialmente en las áreas donde se establezcan los estratos herbáceos del sistema agroforestal, y con mayor énfasis si a estos cultivos perenes se les otorga el tratamiento de monocultivo.

Esté análisis ofrece una estimación de la fertilidad del suelo, debido a que para realizarlo se toma una muestra representativa de todo el suelo del sistema. Por esta razón, el análisis de fertilidad de suelo debe ser complementado con análisis foliar.

Análisis foliar. Para este análisis, se puede realizar dos técnicas de evaluación:

1. **Diagnóstico visual.** Las plantas muestran síntomas visuales en hojas, flores, frutos y tallos, cuando uno o más elementos requeridos para realizar sus procesos metabólicos se encuentran en cantidades deficientes o estos no están disponibles para las plantas por diversas causas, por ejemplo debido al pH del suelo. Existen algunas especies que tienen un grado de resistencia y respuesta más alto que otras, por lo que la sensibilidad a la deficiencia de un nutriente específico es mayor. Estas especies pueden ser utilizadas como “plantas indicadoras”.
2. **Análisis de tejido.** El análisis de tejido foliar puede determinar las necesidades o deficiencias de un cultivo. Es una medida del contenido de uno o más elementos presentes en el tejido vegetal, por esta razón, esta técnica analítica para la evaluación del estado nutrimental se considera confiable y precisa. Esta técnica permite identificar si el grado de absorción de un nutriente es el adecuado para la especie evaluada. El análisis de laboratorio también es una herramienta útil para determinar, en caso de presentarse alteraciones en la planta, el origen de esta condición, estableciendo si es a causa de alguna deficiencia nutrimental o por el contrario es por exceso de fertilización, o incluso por contaminación.

Análisis de las Interacciones entre los diferentes estratos de un sistema agroforestal. La evaluación de las interacciones entre los componentes del sistema agroforestal, debe incluir, la evaluación de los siguientes puntos:

1. Interacciones estrato arbóreo – suelo
    - Protección contra erosión hídrica y eólica.
    - Sombra.
    - Aportación de materia orgánica en las capas superficiales.
2. Interacciones estrato arbóreo – estrato herbáceo
    - Bombeo, reciclaje y aportación de nutrientes.
    - Bombeo de agua.
    - Competencia por luz y CO_2.
    - Alelopatía.

5.3. Comparación y análisis

5.3.1. Análisis de la relación entre los criterios e indicadores de sostenibilidad y las mediciones del estado nutrimental

Para este análisis se realizaron matrices comparativas entre las características de los criterios e indicadores de sostenibilidad y las características de las mediciones del estado nutrimental (cuadros 6 y 7). Se buscó la posible relación entre estas dos y la capacidad de registrar los resultados de mediciones del estado nutrimental como un indicador eficiente para la evaluación de sostenibilidad.

Cuadro 6. Matriz de comparación y análisis entre las características de los indicadores de sostenibilidad y las características de las mediciones del estado nutrimental.

CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD	CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDICIONES DEL ESTADO NUTRIMENTAL	Cumple Sí / No	OBSERVACIONES
Estar basado en información directa y confiable.	La evaluación del estado nutrimental de un sistema agroforestal, está definido por mediciones directas en el componente vegetal (estrato arbóreo y herbáceo) y en el componente suelo del sistema.	Sí	En este punto el estado nutrimental de un sistema agroforestal cumple con la característica requerida para ser un indicador de sostenibilidad.
Debe ser de utilidad para la toma de decisiones en cuanto a las prácticas de manejo de los sistemas agroforestales.	Evaluar el estado nutrimental, puede estimar el grado de afectación que se está produciendo en el suelo por causa de las prácticas de manejo. Es una herramienta útil para determinar el origen de esta condición, y provee de los elementos para corregirla y mejorar el sistema de manejo.	Sí	En este punto el estado nutrimental de un sistema agroforestal cumple con la característica requerida para ser un indicador de sostenibilidad.

Evaluar los tres ejes del concepto de sostenibilidad.			
▪ Eje ambiental.	Evaluar el estado nutrimental del sistema agroforestal y permite conocer con un alto grado de certeza el estado de alteración en el que se encuentra el suelo, considerado como un recurso fundamental del ambiente.	Sí	El estado nutrimental de un sistema agroforestal, se relaciona directamente con este eje, debido a que muestra el grado de alteración de los recursos naturales manejados.
▪ Eje económico.	Conocer los costos inherentes para elevar o mantener la producción, radica fuertemente en el estado nutrimental del sistema, y en las prácticas de manejo que se les están dando.	Sí	El estado nutrimental de un sistema agroforestal está directamente relacionado con las prácticas de manejo, así como al costo que representan las mismas para el productor.
▪ Eje social.	Evaluar el estado nutricional del sistema agroforestal permite conocer el grado en que el sistema producirá con la cantidad y calidad que el productor está buscando.	Sí	La aceptación social de unas u otras prácticas de manejo, radicará fundamentalmente en la capacidad de este en satisfacer las necesidades del productor. Por lo que la baja productividad relacionada con una nutrición deficiente de los cultivos perenes y anuales, producto de un mal manejo, será fácilmente sustituible y aceptado por uno nuevo que satisfaga de manera más adecuada las necesidades del productor.

Considerar la mayor cantidad de variables posible, y la interacción entre ellas, sin restarle practicidad al indicador o a la metodología.	Para considera la cantidad de variables que una evaluación del estado nutrimental puede contener, se tomo como base el número de variables indicadas por el MESMIS.	Parcial	Ver resultados en cuadro número 7. Matriz de comparación y análisis de acuerdo a los atributos del MESMIS.
Evaluar el efecto de los cambios que sucedan dentro del sistema (en sus tres áreas: ambiental, económico y social), con el cambio en las prácticas de manejo.	Le evaluación del estado nutrimental, permite identificar cual es el o los nutrientes que puedan estar ausente del suelo o no disponibles para las plantas, así como el grado de absorción de un nutriente es el adecuado para la especie evaluada. Adicionalmente, puede permitir una predicción muy acertada de los efectos que se suscitarían, si se realizaran cambios en el manejo que afecten directamente a estas condiciones nutricionales.	Parcial	El indicador propuesto puede cumplir de manera parcial con esta característica, debido a que hay que tener en consideración que los cambios que sucedan dentro del sistema, también están relacionados directamente a otras variables del manejo y de las condiciones particulares de cada sistema, como: clima, disponibilidad de agua, recursos socioeconómicos del productor y condiciones del mercado.
Ser preferentemente aplicable en un amplio rango de ecosistemas, condiciones socioeconómicas y culturales.	La evaluación del estado nutrimental, debe realizarse de forma específica para cada sistema agroforestal, debido a la cantidad de variables que se deben considerar para realizar un análisis adecuado de las mediciones.	Parcial	La evaluación del estado nutrimental, puede realizarse en cualquier sistema agroforestal, sin embargo, se debe contar con investigaciones previas de los niveles óptimos para cada cultivo (arbóreo y herbáceo) y de cada tipo de suelo, dentro de cada condición particular. Un punto clave, es que en ocasiones existirá la dificultad para

			obtener dichos valores óptimos o incluso en algunos casos no existirán, lo que implicará que la experiencia de los evaluadores tomará especial importancia.
Sencillez y practicidad en la evaluación, al ser susceptible de monitorear y basado en información fácilmente comparable.	La evaluación nutrimental, puede ser realizada por medio de diferentes técnicas, usando sólo una de ellas o varias. Lo que implica, distintos grados de sencillez en su aplicación, distintos costos, así como distintos grados de calidad en las conclusiones de dicha evaluación.	Sí	Este indicador, cuenta con la flexibilidad de medirlo a diferentes grados de detalle, con diversos costos y en circunstancias ambientales, económicas y sociales distintas.
Ser sencillo de entender y centrarse en aspectos prácticos y claros, con el fin de facilitar la participación de la población local.	En la evaluación nutrimental de un sistema agroforestal se obtienen datos que deberán ser interpretados, analizados y transmitidos por un equipo de evaluadores con la capacidad técnica adecuada para esta tarea.	Sí	En este punto es indispensable la capacidad de los evaluadores para interpretar y analizar los resultados, pero la parte fundamental radicará en su capacidad de simplificarlos y trasmitirlos al productor, quien deberá tomar decisiones con base en esta información.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Cuadro 7. Matriz de comparación y análisis de acuerdo a los atributos del MESMIS.

ATRIBUTOS MESMIS	VARIABLE O INDICADOR	Cumple Sí / No	OBSERVACIÓN
Productividad	Rendimiento	Sí	De 15 variables o indicadores propuestos por la metodología del "Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad" MESMIS, el estado nutrimental puede relacionarse con ocho de ellas de manera directa, lo que representa el 53%. Con tres de ellas se relaciona de manera indirecta, si de estas estimamos el 50% de su valor, podríamos considerar que representan un 10% adicional, por lo que finalmente, el estado nutrimental de un sistema agroforestal se relaciona con el 63% de las variables o indicadores propuestos por el MESMIS.
Estabilidad	Relación costos de producción / ingresos	Sí	
	Diversificación de la dieta	Sí	
	Diversidad biológica	Parcial	
Adaptabilidad	Diversificación de mercados	No	
	Edad de la plantación	Parcial	
	Calidad de suelos	Sí	
	Salud de las plantaciones	Sí	
	Diversificación de ingresos	No	
	Calidad de los productos	Sí	
	Capacitación	Sí	
Equidad	Participación de la mujer	No	
Autogestión	Apoyos gubernamentales	No	
	Dependencia de insumos externos	Sí	
	Generación de empleos	Parcial	

Fuente: Elaboración propia, 2010.

5.4. Indicador de sostenibilidad basado en el estado nutrimental de un sistema agroforestal

Como resultado del análisis, se observaron las siguientes ventajas y desventajas del uso del estado nutrimental de un sistema agroforestal para ser utilizado como indicador de sostenibilidad:

5.4.1. Ventajas

1. El estado nutrimental está basado en mediciones cuantitativas, por lo que su interpretación como indicador de sostenibilidad es objetivo y no presenta posibilidad a interpretaciones subjetivas.
2. Los resultados de la evaluación utilizando este indicador, pueden aplicarse directamente en la toma de decisiones encaminadas en mejorar las prácticas de manejo del sistema agroforestal, para lograr un mayor acercamiento a la cualidad de sostenibilidad.
3. El estado nutrimental de un sistema agroforestal, tiene una relación directa con las tres áreas del concepto de sostenibilidad, al relacionarse directamente a las prácticas de manejo, las cuales impactan directamente en el ambiente, en la economía del productor y de la aceptación por las mismas.
4. Puede relacionarse de manera directa con ocho variables o indicadores de los 15 propuestos por la metodología del “Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad” MESMIS, lo que promueve que sea un indicador que

agrupa y facilita la evaluación de la sostenibilidad del sistema agroforestal, por medio de esta metodología.

5. Este indicador, cuanta con la flexibilidad de medirlo a diferentes grados de detalle, con diversos costos y en circunstancias ambientales, económicas y sociales distintas. Lo que permitirá al evaluador, tomando en consideración las condiciones ambientales del sistema agroforestal y las condiciones socioeconómicas del productor, determinar el grado de detalle con el que se medirá este indicador, lo que supone una ventaja para las necesidades del mismo productor.

5.4.2. Desventajas

1. La evaluación del estado nutrimental, puede realizarse en cualquier sistema agroforestal, sin embargo, se debe contar con investigaciones previas de los niveles óptimos para cada cultivo (arbóreo y herbáceo) y de cada tipo de suelo, dentro de cada condición particular. Existe el riesgo de que se presenten dificultades para obtener dichos valores óptimos o incluso que en algunos casos no existan, lo que implicará que la experiencia de los evaluadores tomará especial importancia y se corre el riesgo de caer en subjetividad.
2. Para la medición, interpretación y evaluación del indicador propuesto, se requerirá de alguien con conocimientos técnicos adecuados, o en su defecto, alguien capacitado para realizar estas actividades, teniendo prioridad un equipo multidisciplinario que cuenten con las herramientas y conocimientos adecuados. Adicionalmente, no son conceptos e información

sencilla de entender. Enfocarlos en aspectos prácticos y claros, con el fin de facilitar la participación de la población local, sin embargo, se requerirá que quien haya realizado las mediciones, la interpretación y la evaluación de sostenibilidad, simplifique y explique a los productores que no estén familiarizados con los conceptos más técnicos de este indicador. Esta situación puede elevar los costos de la evaluación de sostenibilidad del sistema.

3. El indicador propuesto no reflejará todos los cambios que suceden dentro del sistema, debido a que estos también están relacionados directamente a otras variables del manejo y a otras variables correspondientes a las condiciones particulares de cada sistema, como: clima, disponibilidad de agua, recursos socioeconómicos del productor y condiciones del mercado.

5.5. Propuesta para la aplicación del indicador de sostenibilidad planteado

Con base en los resultados obtenidos, se consideró que el estado nutrimental de un sistema agroforestal puede ser utilizado en cualquier metodología de evaluación de sostenibilidad como un indicador eficiente, sin embargo, se propone aplicarlo a la metodología del MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad), otorgándole mayor simplificación en su evaluación integrando el 63% de las variables establecidas dentro de esta metodología. De esta forma, se aprovecha la estructura flexible que caracteriza a esta metodología y las virtudes integradoras y de carácter práctico del indicador de sostenibilidad propuesto.

Esta metodología, como se mencionó en el apartado 4. METODOLOGÍA del presente documento, está dividida en 6 procesos de evaluación (figura 3.) considerando además, la capacidad de reiniciar al término de una primer evaluación, con la ventaja de que los cambios en las practicas de manejo realizadas puedan expresar nuevos resultados.

Figura 3. Diagrama de flujo de la Metodología del MESMIS.

Fuente: Masera *et al*., 1999.

La aplicación del uso de las mediciones del estado nutrimental como indicador de sostenibilidad, se propone para las fases 4, 5 y 6 de la metodología del MESMIS.

5.5.1. Medición y monitoreo (Punto 4 de la metodología del MESMIS)

Para la aplicación y medición de este indicador se propone que deba realizarse un análisis de suelo, análisis foliar del estrato herbáceo y del estrato arbóreo del sistema agroforestal, y un análisis de las interacciones que se presentan dentro del sistema.

Análisis de suelo. Para que un sistema de uso de la tierra sea sostenible, requiere el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Para el análisis de suelo, se deberá considerar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Alegre, 1992).

Evaluar las propiedades físicas del suelo para describirlo, mediante el análisis de:

- Retención de humedad.
- Densidad aparente.
- Compactación.
- Estructura.
- Porosidad.
- Textura.
- Color.

Mediante análisis químicos evaluar la fertilidad del suelo:

- Capacidad de intercambio catiónico.
- Conductividad eléctrica.
- pH.

- Nitrógeno inorgánico.
- Fósforo.
- Potasio.
- Calcio.
- Magnesio.
- Hierro.
- Manganeso.
- Zinc.
- Cobre.
- Boro.
- Capacidad de intercambio catiónico.

Las variables a medir para evaluar las propiedades biológicas son:

- Materia orgánica.
- Nitrógeno orgánico.
- Relación Carbono – Nitrógeno.
- Presencia de Micorrizas.
- Presencia de Rizomas.

Análisis foliar. El análisis de de suelo debe ser complementado con un análisis foliar a los estratos arbóreos y herbáceos del sistema, con la finalidad de obtener la información más completa del estado nutrimental del sistema. Para este análisis se pueden utilizar dos técnicas complementarias:

- Análisis visual y con apoyo de lecturas de SPAD, éstas lecturas proporcionan una medida cuantitativa sobre la severidad de la clorosis en las hojas (Tlatilpa, 2006).
- Composición del estado nutrimental de hojas.

Además se debe analizar la información obtenida para generar relaciones nutrimentales e índices de desbalance nutrimental y rendimiento. El estado nutrimental del sistema puede ser evaluado mediante la técnica “Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación” (DRIS), empleada por Maldonado (1989).

Análisis de las interacciones. Para diversas asociaciones de cultivos relacionadas en condiciones específicas, existen investigaciones que han determinado el tipo de interacciones que se presentan. Sin embargo, para fines de comparar con estos resultados, y para los casos donde no se tengan parámetros establecidos, es importante realizar mediciones para que el equipo evaluador establezca el tipo de relaciones que se presenten. Se proponen las siguientes mediciones:

- Rendimiento y calidad de los productos.
- Aportación de materia orgánica por parte del estrato arbóreo.
- Tasa de crecimiento dentro del área de goteo del estrato arbóreo.
- Cantidad y tipo de podas al estrato arbóreo.
- Cantidad de biomasa depositada en la superficie del suelo por parte del estrato arbóreo.

5.5.2. Integración de resultados (Punto 5 de la metodología del MESMIS)

Para la interpretación de los datos obtenidos a partir de la medición del indicador de sostenibilidad generado a partir del estado nutrimental del sistema agroforestal, se propone una escala de tres niveles de calidad en el estado nutrimental del sistema:

1. **Óptimo.** Se considerará un estado nutrimental bueno cuando los niveles de todos los nutrientes evaluados estén dentro de los rangos establecidos, para el desarrollo óptimo de su actividad metabólica.
2. **Intermedio.** Se considerará un estado nutrimental intermedio cuando los niveles de algunos o todos los nutrientes evaluados estén fuera de los rangos, y se encuentren en estados que puedan disminuir o alterar algunas de las funciones metabólicas, sin embargo estos niveles pueden ser fácilmente ajustados a los niveles óptimos o en su caso el mantenerlos en los niveles en los que se encontraron, no implicaría un riesgo elevado para la planta y la productividad del sistema.
3. **Deficiente.** Se considerará un estado nutrimental deficiente cuando los niveles de todos los nutrientes evaluados estén fuera de los rangos y estos pueden disminuir o alterar algunas de las funciones metabólicas, y el ajustarlos a niveles óptimos requiere de esfuerzos mayores. De no corregirse este estado nutrimental deficiente, está en riesgo, la producción en cuanto a la cantidad, calidad o ambas, y se tiene el riesgo de pérdida de uno o más compontes del sistema agroforestal.

Para la mayor parte de los cultivos, se tienen establecidos los parámetros óptimos para cada nutriente y para condición determinada, sin embargo se subraya nuevamente que el evaluador requerirá de los conocimientos adecuados y le experiencia para establecer un diagnóstico adecuado o realizar una investigación adecuada para conocer los niveles óptimos para cada caso particular. Posteriormente, estos resultados deberán ser simplificados y transmitidos al productor, para la adecuada toma de decisiones.

Para la integración y análisis de los resultados, se propone una matriz de análisis de análisis (cuadro 8., ver anexo 1), en la que se colocan los resultados obtenidos en relación a los tres niveles de calidad en el estado nutrimental del sistema en relación con los atributos evaluados por la metodología MESMIS.

Debe completarse con un valor por variable dentro de una escala de 0 a 10, dependiendo del nivel en el que se hayan asignado los resultados de la medición del estado nutrimental se colocará en una de las tres opciones: Óptimo, Intermedio o Deficiente. Al final se suman los valores de cada nivel y de cada variable, colocándose en la fila de TOTALES y en la columna de TOTALES, respectivamente. Finalmente, se realiza una ponderación y se coloca el valor del PUNTAJE TOTAL NETO.

El proceso para completar el cuadro de análisis de las variables integradas a la evaluación de sostenibilidad, debe realizarse por un equipo multidisciplinario, quienes tengan los conocimientos necesarios o la experiencia, para la interpretación de la información obtenida. El equipo evaluador debe otorgar el

valor a cada variable, según los resultados del estado nutrimental del sistema agroforestal y sus consideraciones con respecto a la información obtenida para las otras variables.

Para completar el cuadro se debe considerar que para las 15 variables a medir, el valor máximo por variable debe ser:

- De 8 a 10 para el valor Óptimo
- De 4 a 7 para el valor Intermedio
- De 0 a 3 para el valor deficiente

Con los valores anteriormente descritos, se puede obtener un Puntaje Total Máximo de 150, el cual debe ser ponderado para una mayor facilidad de interpretación. Así, el Puntaje Total Neto Máximo se ubicaría en **100**.

Por último, estos resultados deben ser integrados junto con las mediciones de otros indicadores, considerados dentro de la metodología de evaluación de sostenibilidad propuesta. Esto debido a que el análisis de la sostenibilidad no puede realizarse con base en un solo indicador, puesto que como ya se mencionó, no existiría alguno que evaluara todas las características inherentes a la condición de sostenibilidad en el manejo de un sistema agroforestal.

Para evaluar los otros indicadores, así como para complementar la evaluación del estado nutrimental del sistema agroforestal, se propone, con base en lo establecido por Guzmán *et al.* (2000), recabar la siguiente información:

Factores ambientales.

- Variables climáticas (Temperatura, precipitación, presencia de heladas y granizadas, radiación solar, evaporación, y velocidad del viento).
- Tipo de semillas utilizadas.
- Historial del cultivo.
- Presencia de plagas y enfermedades y daños reportados.
- Insumos externos utilizados y sus costos de compra y aplicación.
- Presencia de riego, eficiencia en su uso y calidad del agua utilizada.

Factores económicos.

- Costos fijos y variables.
- Ingresos brutos.
- Tipo, cantidad y costos, de la mano de obra empleada.

Factores sociales.

- Tenencia de la tierra.
- Objetivo final del productor.
- Necesidades de mano de obra.
- Apoyos económicos.
- Fuentes de financiamiento.
- Apoyos técnicos.
- Acceso a mercados y servicios.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de las comparaciones y análisis realizados en la presente investigación, se concluyó que las mediciones del estado nutrimental de un sistema agroforestal pueden ser utilizadas como un indicador integral y eficiente, aplicándolo dentro de alguna metodología de evaluación de sostenibilidad. Evaluando e integrando de forma directa o indirecta a otros indicadores de sostenibilidad, debido principalmente, a que la nutrición vegetal se relaciona con una diversidad amplia de variables que intervienen dentro del sistema agroforestal y su manejo, apoyando directamente la toma de decisiones con respecto al manejo integral del sistema agroforestal.

Finalmente, se recomienda que la evaluación de sostenibilidad de un sistema agroforestal, realizada con la metodología del MESMIS y aplicando el indicador de sostenibilidad generado a partir del estado nutrimental del sistema, debe realizarse siempre con un enfoque holístico y preferentemente apoyada en un equipo multidisciplinario, incluyendo además, a los productores involucrados.

7. ANEXO 1

Cuadro 8. Matriz de integración de resultados.

ATRIBUTO MESMIS	VARIABLE	RELACIÓN CON EL INDICADOR	ÓPTIMO	INTERMEDIO	DEFICIENTE	TOTALES	OBSERVACIONES
Productividad	Rendimiento	Directa					
Estabilidad	Relación costos de producción / ingresos	Directa					
	Diversificación de la dieta	Indirecta					
	Diversidad biológica	Indirecta					
Adaptabilidad	Diversificación de mercados	Sin relación					
	Edad de la plantación	Sin relación					
	Calidad de suelos	Indirecta					
	Salud de las plantaciones	Directa					

	Diversificación de ingresos	Sin relación					
	Calidad de los productos	Directa					
	Capacitación	Indirecta					
Equidad	Participación de la mujer	Sin relación					
Autogestión	Apoyos gubernamentales	Sin relación					
	Dependencia de insumos externos	Directa					
	Generación de empleos	Sin relación					
TOTALES							
PUNTAJE TOTAL NETO							

Fuente: Elaboración propia, 2010.

8. LITERATURA CITADA

Aguiar, V. 2008. Eficiencia, sostenibilidad ambiental y equidad Intergeneracional en los modelos de generaciones Traslapadas: lecciones de política. Quito, Ecuador.

Alegre, J. 1992. Manejo y Conservación de Suelos y su importancia en sistemas agroforestales. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Perú.

Altieri, M. 1999. Presentación. Masera, O.; M. Astier y S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: El marco de evaluación MESMIS. Mundi-prensa, GIRA e IE y UNAM. México.

Andreoli M y V. Tellarini. 2000. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. Agriculture, Ecosystems and Environment 77: 43–52.

Astier, M. y J. Hollands. 2007. Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica. Mundi-prensa, GIRA. México.

Astier, M. y M. Altieri. 1999. Fortalecimiento de una metodología de evaluación de sustentabilidad a través de un estudio de caso en la Región Purhepecha, México. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Apropiada (GIRA, AC).Michoacán, México.

Bejarano-Ávila, J. 1998. Un marco institucional para la gestión del medio ambiente y para la sostenibilidad agrícola. En Agricultura, Medio Ambiente y Pobreza Rural en América Latina (Reca LG, Echeverría RG, comp.). Washington: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Agrarias (IFPRI), Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Bockstaller C, P. Girardin, H. y Van der Werf. 1997. Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. European Journal of Agronomy 7: 261-270.

Castro, U. 2008. Economía de México y desarrollo sustentable. Universidad de Guadalajara, México.

De Camino, V. y S. Müller. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para establecer indicadores. Serie de documentos de Programas Num. 38. Costa Rica: IICA – GTZ.

De Camino, V. y S. Müller. 1994. Investigación agrícola con una perspectiva de sostenibilidad: Criterios e Indicadores para definir prioridades, el monitoreo y la evaluación. Programa Cooperativo para el desarrollo tecnológico agropecuario del cono sur. Uruguay.

Delgado R. y Núñez M. 2004. La modelización interactiva en la evaluación de sustentabilidad de sistemas de producción y prácticas de manejo y en la transferencia de tecnología. Revista Digital CENIAP HOY N° 6, septiembre-diciembre 2004. Maracay, Aragua, Venezuela.

Espino, J. 2005. La agricultura ecológica en el proceso de la sustentabilidad en Tlaxcala, México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias. UACh. Chapingo, México.

Espinosa, N. 2001. Índice de sustentabilidad alimentaria global: tasa de crecimiento alimentaria contra tasa de crecimiento poblacional. Tesis. UACh. Chapingo, México.

Evia, G. y S. Sarandón. 2002. Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay. En Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable, (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 22: 431-448.

Flores, C. y S. Sarandón. 2003. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El análisis económico convencional y el costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía La Plata 105 (1): 52-67. Gayoso J, Iroumé A. 1991. Metodología para estimar la fragilidad de terrenos forestales. Medio Ambiente 11(2): 13-24.

Gómez, A., K. Swete, J. Syers y K. Coughlan. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication 49: 401-410. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. Hansen JW, Jones JW. 1996. A systems framework for characterizing farm sustainability. Agricultural Systems 51:185-201.

Guzmán, G. , M. González, E. Sevilla. 2000. Introducción a la Agroecología como Desarrollo Rural Sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. España – México.

Hadas, A., J. Molina, S. Feigenbaum y C. Clapp. 1992. Factors affecting nitrogen immobilization in soil as estimated by simulation models. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1.481-1.486.

Holvoet, B y B. Muys. 2004. Sustainable forest management worldwide: a comparative assessment of standards. International Forestry Review 6(2):99- 122.

INIA. 2005. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Apdo. 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. Agronomía Trop. vol.55 no.2 Maracay Apr.

Jiménez, F. , R. Muschler, E. Köpsell. 2001. Funciones y Aplicaciones de Sistemas Agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Lefroy, R., H. Bechstedt y M. Rais. 2000. Indicators of sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia and Thailand. Agriculture, Ecosystems & Environment 81: 137-146.

López-Ridaura S, O. Masera y M. Astier. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. Ecological Indicators 2: 135-148.

Maldonado, R. 1989. Efecto de un cultivo intercalado y poda sobre la composición mineral de las hojas de árboles de ciruelo (*prunas salicina L*) bajo condiciones de temporal. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias. UACh. Chapingo, México.

Masera, O., M. Astier y S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: El marco de evaluación MESMIS. Mundi-prensa, GIRA e IE y UNAM. México.

Méndez I., D. Namihira, L. Moreno y C. Sosa. 1990. El protocolo de investigación. Lineamientos para su elaboración y análisis. Trillas. México.

Mendoza G, y R. Prabhu. 2000. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. Forest Ecology and Management 131: 107-126

Mendoza, G., P. Macoun, R. Prabhu, D. Sukadri, H. Purnomo, y H. Hartanto. (1999). Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. CIFOR, Jakarta., Indonesia. Vol. 9. 81 p.

Metherell A., L. Harding, C. Cole, y W. Parton. 1993. CENTURY: Soil organic matter model environment. Technical Documentation Agroecosystem Version 4.0 Great Plains. System Research Unit. Technical Report # 4. USDA-ARS, Fort Collins, CO.

Monteith, J. L. 1990. Can sustainability be quantified?. Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development. Vol.5(1-2):1-15.

Pacini C, A. Wossink, G. Giesen, C. Vazzana, R. Huirne. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field scale analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 95: 273-288.

Paustian, K. 1994. Modeling soil biology and biochemical processes for sustainable agriculture research. In: C.E. Pankhurst, D.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, and P.R. Grace (eds.). Soil Biota: Management in sustainable farming systems. CSIRO, Australia.

Paustian, K., W. J. Parton y J. Persson. 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long term plots. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:476-488.

Pezo, D. y M. Ibrahim. 1999. Sistemas Silvopastoriles. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Rendón, R. 2004 Evaluación comparativa de sustentabilidad en sistemas agrícolas convencionales, mixtos y orgánicos de México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias. UACh. Chapingo, México.

Roming D, J. Garlynd, R. Harris. 1996. Farmer- based assessment of soilquality: a soil health scorecard. In Methods for Assessing Soil Quality (Doran JW, Jones AJ, eds.). SSSA Special Publication 49, pp. 127-158. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Sánchez, A. 1982. Diagnostico agroecológico preliminar de las áreas del país al Norte del río Orinoco. CENIAP-FONAIAP. Maracay, Venezuela.

Sarandón, S., M. Marasas, F. Dipietro, A. Belaus, W. Muiño y E. Oscares. 2003. Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. Resúmenes (CD Rom), I Congresso Brasileiro de Agroecología, IV Seminario Internacional sobre Agroecología, V Seminario Estadual sobre Agroecología, Porto Alegre (RS), Nov 2003. EMATER/ ASCAR, Resumen RN117, pp. 4.

Sarandón S. 1998. The development and use of sustainability indicators: a need for organic agriculture evaluation. XII International Scientific Conference IFOAM 1998. Mar del Plata, Argentina.

Sarandón S. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 20: 393-414.

Smyth, A., J. Dumansky. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. Canadian Journal of Soil Science 75:401-406.

Swift, M., y P. Woomer. 1993. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: Definition and measurement. En: Mulongoy, K. and Merckx, R. (eds.). Soil organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. Wiley-Sayce Co., New York.

Tellarini, V., F. Caporali. 2000. An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. Agriculture, Ecosystems & Environment 77: 111–123

Tlatilpa, I. 2006. Tolerancia a clorosis férrica de fenotipos de fríjol. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Trujillo, R. 2010. La Sustentabilidad en la Agricultura: Concepto y su Evaluación en Sistemas Agrarios. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos. Universidad de Córdoba. España.

Van der Werf H., J. Petit. 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. Agriculture, Ecosystems & Environment 93: 131-145.

Yépez, P. 1997. Evaluación de la sustentabilidad del cafetal bajo manejo orgánico, mediante el balance de nutrientes en la Unión Majomut, Chiapas. UACh. Chapingo, Méx.