



**PRÁCTICAS DE MANEJO AGRONÓMICO PARA LA
SUSTENTABILIDAD: CARACTERÍSTICAS Y MEDICIÓN EN *Agave
tequilana* Weber EN LA REGIÓN SIERRA DE AMULA, JALISCO**

**[AGRONOMIC MANAGEMENT PRACTICES FOR SUSTAINABILITY:
CHARACTERISTICS AND MEASUREMENT IN *Agave tequilana* Weber IN
THE SIERRA DE AMULA REGION, JALISCO]**

**Arturo Moreno-Hernández^{1*}, Néstor Estrella-Chulim², Sergio Escobedo-
Garrido², Ángel Bustamante-González² y Peter W. Gerritsen¹.**

¹Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Av.
Independencia Nacional 151, Autlán, Jalisco México, CP. 48900.

²Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Km. 125.5 Carretera Federal México-
Puebla (Forjadores). Santiago Momoxpan, Cholula Puebla. CP. 72760.

nestrela@colpos.mx

E-mail: amoreno@cucsur.udg.mx

*Corresponding Author

RESUMEN

Se realizó una evaluación cualitativa del manejo sustentable del agroecosistema de agave azul (*Agave tequilana* Weber) en la región Sierra de Amula en el estado de Jalisco, México. Se evaluaron 16 parcelas en un gradiente de 777 hasta 1345 msnm. Se tomaron seis principios considerados por Altieri (1999) como básicos para considerar un manejo sustentable del agroecosistema, con un enfoque agroecológico. Sobre esta base se construyó un Índice de Manejo Sustentable del Agroecosistema (IMSA) el cual se clasificó en cuatro niveles. Valores menores a 50 % fueron considerados con manejo no sustentable, 51 a 66.6 % manejo sustentable bajo, 66.7 a 83.2 % manejo sustentable medio y 83.3 a 100 % manejo sustentable alto. De las 16 parcelas evaluadas, dos fueron clasificadas con un manejo no sustentable, seis presentaron un manejo sustentable bajo, cinco se clasificaron con un manejo sustentable medio y tres con un manejo sustentable alto.

Palabras clave: agroecosistemas; manejo sustentable; sustentabilidad; *Agave tequilana*; tequila.

INTRODUCCIÓN

El *Agave* es el género de la familia agavácea con aproximadamente 200 especies, 150 se encuentran en México (Granados, 1993). De estas, el *Agave tequilana* Weber var. azul es la especie con mayor importancia económica en México, esto debido a la demanda mundial del Tequila. A partir del incremento en la demanda de esta bebida, el agave azul es cultivado en nuevas áreas geográficas ubicadas en la región protegida por la Denominación de Origen (Diario Oficial de la Federación del 9 de diciembre de 1974, modificada el 13 de octubre de 1977 y 12 de

SUMMARY

This article qualitative evaluation of the sustainable management in blue agave (*Agave tequilana* Weber) agroecosystems, in Sierra Amula region of the Jalisco state, Mexico. Sixteen sites were evaluated in an altitudinal gradient ranging from 777 to 1345 masl. Six principles considered by Altieri (1999) as the basic elements of a sustainable management of the agroecosystem, were used to construct an Index of Agroecosystem Sustainable Management (IMSA). Four levels of this index were identified: values lower than 50 % were considered unsustainable management, 51 to 66.6 % scarcely sustainable management, 66.7 to 83.2 % mediumly sustainable management and 83.3 to 100 % highly sustainable management. Of the 16 sites evaluated, two were classified as unsustainable management, six was scarcely sustainable management, five as medially sustainable management and three as highly sustainable management.

Key words: agroecosystem; sustainable management; sustainability; *Agave tequilana*; tequila.

junio del 2000) a pesar de que en muchas de estas áreas no existían antecedentes de su cultivo, productores independientes con experiencia en producir granos como: maíz, sorgo, trigo u hortalizas como: chile y jitomate; plantaron con y sin asesoría técnica especializada, sin una planeación técnica-económica y con altas expectativas económicas generadas por los altos precios que tenía el agave a finales de la década de 1990 (MX\$14 kg⁻¹, equivalente a US\$1.47 a diciembre de 1999). Desafortunadamente para estos productores, que desconocían el sistema productivo y el sistema de mercadeo, de 2007 a 2009 el mercado del agave se ha visto saturado; no hay

compradores ni opciones de transformar en otros productos la materia prima a corto o mediano plazo. Como consecuencia, los pocos productores que vendieron su producción lo hicieron a precios de MX\$0.70 kg⁻¹ (US\$0.05) puesto a pie de fábrica, que para la mayoría de los productores emprendedores representó una pérdida de la inversión.

Por otra parte, existen las grandes compañías tequileras como “*Cuervo*” (productor desde 1795) y “*Sauza*”, que aprendieron sobre los ciclos largos de escasez y abundancia del agave, por lo que estratégicamente han integrado un esquema de compañías productoras de agave azul que abastecen a su industria con cierto grado de planeación para evitar un colapso en las épocas de escasez. Así satisfacen casi completamente su demanda de agave y en consecuencia los productores independientes no tienen un mercado seguro para su producto.

La producción de agave azul es criticada porque hipotéticamente usa prácticas de manejo no sustentable. Este trabajo permite examinar dicha hipótesis en ocho municipios de la región Sierra de Amula, Jalisco (Figura 1), con una metodología cualitativa, utilizando un Índice de Manejo Sustentable construido ex profeso y con la base conceptual de los indicadores de manejo sustentable propuestos por Altieri (1999): 1) diversificación de especies animales y vegetales, 2) materia orgánica, 3) provisión de condiciones edáficas óptimas, 4) prácticas de manejo para evitar pérdida de suelo y agua, 5) medidas para reducir pérdidas por plagas, enfermedades o malezas, y 6) explotación de sinergias planta-planta, planta-animales.

MARCO CONCEPTUAL

La sustentabilidad desde la visión Brundtland (1989), tiene como meta “*conservar el potencial para futuras generaciones*”. Lo anterior tiene varias interpretaciones y cada autor puede justificar su acuerdo o desacuerdo con esta visión. Sin embargo, desde los conservacionistas extremos que se preocupan por conservar los recursos naturales intactos hasta los desarrollistas que buscan una explotación racional de los recursos naturales, coinciden en que no puede existir avance en el presente y futuro, en lo económico y en lo social si los recursos naturales y el medio ambiente son descuidados en el presente. Por lo tanto, la sustentabilidad es un concepto que no puede ser separado de cualquier actividad en las que el hombre participe usando o aprovechando los recursos naturales. El concepto de sustentabilidad es complejo de definir y mucho más complejo operarlo. Corbiere-Nicollier *et al.* (2003), menciona que una de las mejores vías que permiten conocer si las actividades humanas se mueven en dirección a la sustentabilidad,

es a través de indicadores diseñados desde las propias actividades y de sus consecuencias (impactos). Éstos señalarán cada uno de los niveles de daño, las actividades que hay que reducir o las tendencias deseables que se deben promover. Menciona que los objetivos de la sustentabilidad son la conservación de un medio ambiente viable y diverso, la salud humana, la creación de una economía viable y la seguridad de la cohesión social. Para Altieri (1999) la sustentabilidad es la medida de la habilidad de un agroecosistema para mantener la producción a través del tiempo, en la presencia de repetidas restricciones ecológicas y presiones socioeconómicas. Para esta investigación, la sustentabilidad se entiende como una condición o estado que permite a los sistemas naturales, económicos y sociales, mejorar o mantener un nivel de producción que garantice la reproducción cíclica de los mismos sin generar efectos depredadores.

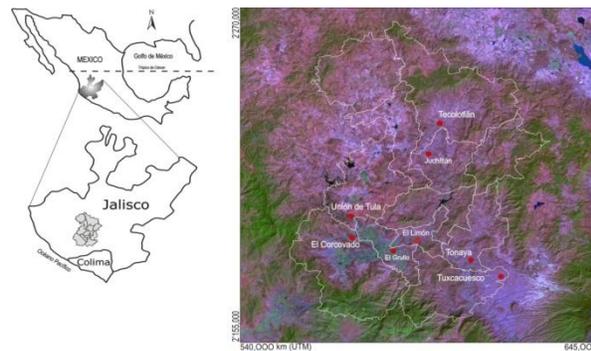


Figura 1. Localización del área de estudio.

Relacionando el concepto de sustentabilidad con desarrollo, la FAO (1993), visualiza al concepto de desarrollo sustentable como “el manejo y la conservación de la base de recursos naturales y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales, de manera que garanticen la satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras, ahora y en el futuro. Este tipo de desarrollo conserva los recursos de la tierra, el agua, plantas y animales, no degrada el medio ambiente, es técnicamente apropiado, viable económicamente y socialmente aceptado”. En la Conferencia de Rio de Janeiro (1992), se consideraba un concepto al que se nombró “agricultura sustentable”, definido como “modelo de organización social y económica, basado en una visión equitativa y participativa del desarrollo que reconoce al medio ambiente y los recursos naturales como las bases de la actividad económica. La agricultura es sustentable cuando es ecológicamente segura, económicamente viable, socialmente justa y basada en un método científico holístico”; los dos conceptos son explícitos,

se observa una clara prioridad por conservar y manejar de manera adecuada los recursos naturales.

Determinar si una actividad económica es o no es sustentable varía dependiendo del enfoque que se elija. No existe un marco único aunque siempre debe entenderse de forma integral como un sistema complejo. Los enfoques (López-Ridaura *et al.*, 2005) recaen en dos tipos: la nombrada fuerte sustentabilidad y la débil sustentabilidad, el primero se relaciona principalmente con sostener los recursos naturales, su objetivo común es la modificación de un proceso económico y social en donde la relación del ser humano con la naturaleza pueda ajustarse a una demanda más modesta, privilegiando el factor ecológico. La débil sustentabilidad consiste en usar los recursos sin reducir el stock físico, sostener los recursos inter-generacionalmente para continuar produciendo capital.

El enfoque de este estudio está relacionado con la débil sustentabilidad, donde el manejo sustentable se expresa por indicadores agroecológicos que permiten al agroecosistema mantener su productividad sin demérito de los recursos naturales y el medio ambiente; en una fase posterior de esta investigación se evaluará la sustentabilidad del agroecosistema en su conjunto integrando otros índices e indicadores. El concepto de “agroecosistema” es el definido por Gliessman (2002), como “un sitio de producción agrícola, entendido como un ecosistema, éste proporciona un marco que permite analizar el sistema de producción de alimentos como un elemento integrador que incluye un complejo conjunto de entradas, salidas, y de interrelaciones de las partes que lo componen”. La escala mínima usada en el análisis del agroecosistema fue la parcela del productor.

Para la FAO (1993) el manejo sustentable de la tierra “combina tecnologías, políticas y actividades integrando principios socioeconómicos y ambientales de forma simultánea para mantener o incrementar la producción y /o servicios, reducir los niveles de riesgo de la producción, proteger el potencial de los recursos naturales y prevenir la degradación del suelo y la calidad del agua, ser económicamente viable y socialmente aceptable”.

El manejo sustentable de un agroecosistema que se consideró en el trabajo es definido como las prácticas, técnicas y/o tecnologías aplicadas que garantizan en su conjunto la posibilidad de que el agroecosistema continúe funcionando sin demérito en la calidad de los recursos naturales y el medio ambiente.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la región Sierra de Amula, estado de Jalisco, México, en los municipios de Autlán de Navarro, El Grullo, El Limón, Juchitlán, Unión de Tula, Tecolotlán, Tonaya y Tuxcacuesco. Se

entrevistaron en promedio a dos productores por cada municipio, la selección de los mismos fue dirigida a productores emprendedores pioneros en la plantación de agave en cada municipio. Se evaluó una parcela por cada productor con las características siguientes: ser la primera parcela plantada con agave por el productor y tener al momento de la evaluación siete o más años de plantación, un total de 16 parcelas en la región (Tabla1). El periodo de trabajo de selección, entrevistas y evaluación de parcelas comprendió de febrero a abril de 2009.

Se construyó un Índice de Manejo Sustentable del Agroecosistema, se incluyeron los seis indicadores propuestos por Altieri (1999) para considerar un agroecosistema con manejo sustentable. Cada indicador tomó en su clasificación la siguiente escala general: 0 = Manejo sustentable nulo, 1 = Manejo sustentable bajo, 2 = Manejo sustentable medio, 3 = Manejo sustentable alto, 4 = Manejo sustentable óptimo. En los indicadores 1, 3, 4 y 6, el valor máximo que se pudo alcanzar es el de manejo sustentable alto, debido a que no fue posible definir el valor óptimo en cada una de ellas.

Indicador 1. Número de evidencias que permiten una diversificación de especies. Se consideró positivo para el manejo sustentable que exista una mayor diversidad en el agroecosistema. Se evaluaron tres variables de manejo que permitieron conocer cualitativamente este indicador, cada variable tomó el valor de 1 si existía presencia o evidencia y 0 en caso contrario. La sumatoria de los valores de las tres variables generó el valor del indicador 1. Variable 1. Presencia de árboles vivos al contorno de la parcela. Variable 2. Presencia o evidencia de especies animales. Variable 3. Presencia de otras especies cultivadas o silvestres en el interior de la parcela.

Indicador 2. Cantidad de materia orgánica en suelo. Se realizó un análisis de suelos para determinar los porcentajes de materia orgánica con el método Walkley Black, los resultados se clasificaron de acuerdo a Ortiz-Solorio (1990). Cantidades menores de 1 % de materia orgánica tomaron el valor de 1, es decir, un porcentaje muy pobre; cantidades entre 1 y 2 % se asignó el valor de 2, que correspondió a un porcentaje pobre; de 2 a 3 % se asignó el valor de 3, que corresponde a un porcentaje medio y cantidades mayores a 3 % se asignó el valor de 4, que correspondió a porcentajes altos o ricos en materia orgánica.

Tabla 1. Ubicación de parcelas y productores entrevistados.

Parcela	Actividad del productor	Municipio	Altitud (msnm)	Lat. Norte (° ' ")	Long. Oeste (° ' ")
1	Mecánico	Tecolotlán	1186	20 09 44.1	104 02 23.8
2	Agricultor	Tecolotlán	1170	20 09 36.5	104 02 26.9
3	Agricultor	Tecolotlán	1189	20 06 52.4	104 04 22.4
4	Mecánico	Juchitlán	1239	20 06 47.1	104 04 41.1
5	Agricultor	Juchitlán	1242	20 06 42.3	104 04 55.7
6	Comerciante	Unión de Tula	1345	19 59 07.1	104 15 18.2
7	Agricultor	Unión de Tula	1343	10 54 35.2	104 13 59.2
8	Agricultor	Autlán	917	19 48 39.7	104 18 49.2
9	Empleado	Autlán	927	19 48 36.1	104 18 48.5
10	Ganadero	Grullo	898	19 47 51.0	104 15 22.3
11	Agricultor	Grullo	862	19 42 27.9	104 08 34.7
12	Agricultor	Limón	819	19 49 38.0	104 06 56.7
13	Agricultor	Limón	778	19 49 09.0	104 04 44.2
14	Agricultor	Tonaya	777	19 45 37.8	104 01 30.7
15	Apicultor	Tonaya	879	19 45 03.1	103 37 04.3
16	Comerciante	Tuxcacuesco	943	19 43 59.5	103 54 18.1

Indicador 3. Número de prácticas que provisionan condiciones edáficas óptimas para el crecimiento del agave, manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo. Las variables correspondieron a prácticas de manejo que colaboran a la sustentabilidad del agroecosistema, cada variable tomó el valor de 1 si es que se realizó y valor de 0 si no; para la variable 2 el criterio que se aplicó fue de forma inversa. La sumatoria de los valores de las tres variables generó el valor del indicador 3. Variable 1. Aplica abonos orgánicos (directa o indirectamente con la presencia de ganado). Variable 2. Uso de herbicidas (si no usa el valor es 1 y si usa es 0). Variable 3. Mantiene cubierta vegetal entre surcos.

Indicador 4. Número de prácticas de manejo para evitar pérdidas por erosión del suelo en terrenos con pendiente superior a 5 %. Estas variables correspondieron a prácticas de manejo que colaboran a la sustentabilidad del agroecosistema, cada una tuvo el valor de 1 si es que se realizó y valor de 0 si no se realizó. La sumatoria de los valores de las tres variables generó el valor del indicador 4. La práctica de conservar cubierta vegetal ayuda a conservar humedad, incrementa la posibilidad de vida de microorganismos, reduce el impacto de la lluvia o el viento y en consecuencia reduce los volúmenes de erosión. La orientación de surcos a la inversa de la pendiente conjuntamente trazando curvas de nivel, tiene efectos positivos para el manejo sustentable al reducir las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Variable 1. Cubierta vegetal. Variable 2. Orientación de surcos inversa con respecto a la pendiente. Variable 3. Surcos trazados a curvas de nivel.

Indicador 5. Valoración según tipo de manejo para el control de plagas y enfermedades. En este indicador se utilizó una ponderación en relación a la técnica utilizada para el control de plagas y enfermedades, supuso que un manejo químico aporta un menor valor a la sustentabilidad por ser un insumo externo y por los efectos negativos a la salud humana y contaminación al medio ambiente. Sin embargo, se le consideró un valor de 1 porque también colabora a incrementar la productividad del agroecosistema. El manejo orgánico tuvo una sobrevaloración de 3 debido a que se considera que este manejo tiene menores efectos al medio ambiente y a la salud humana. El máximo valor de 4 correspondió a parcelas en las que no fue necesario aplicar algún manejo porque no existió ningún riesgo por plagas o enfermedades. Variable 1. Manejo químico (Valor =1). Variable 2. Manejo integrado: químico-biológico o manual (Valor= 2). Variable 3. Manejo orgánico: manual o/y biológico (Valor= 3). Variable 4. Sin presencia de plagas o enfermedades (Valor =4).

Indicador 6. Valoración según tipo de control de malezas. Se usó una ponderación que varía de 1 a 3, la técnica con menor valor aporta en menor medida condiciones favorables de sustentabilidad, para este caso se priorizó al control orgánico con un valor máximo de 3. Variable 1. Control químico: uso de agroquímicos en toda su fase productiva (Valor =1). Variable 2. Control integrado: uso de agroquímicos en uno o dos años del cultivo y después control mecánico o manual (Valor =2). Variable 3. Control orgánico: manual o control con ganado en toda su fase productiva (Valor =3).

Índice de manejo sustentable del agroecosistema (IMSA). Varía de 0 a 100 %, entre más cercano se encuentre al 100 % el manejo es más sustentable. Se clasificó en cuatro categorías: De 0 a 50 % es considerado como manejo no sustentable o no deseable, indica que la mitad o menos de los indicadores evaluados tomaron acciones, prácticas o técnicas de manejo que no favorecen a la sustentabilidad. Un valor mayor al 50 % indica que proporcionalmente son más las acciones, prácticas o técnicas de manejo que favorecen a la sustentabilidad por lo cual se consideraron con un manejo sustentable. Con fines de clasificación se dividió en cuatro categorías que sirven para ubicar el nivel en que se encuentra cada parcela: I (> 50 %) manejo no sustentable o no deseable, II (50 a 66 %) manejo sustentable bajo o mejorable, III (67 a 83 %) manejo sustentable medio o estable, y IV (84 a 100 %) manejo sustentable alto o deseable. En la Figura 2 esquemáticamente se observa la integración de los seis indicadores para formar el IMSA. Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{IMSA por parcela} = \left[\frac{\sum \text{indicador } i \dots n}{\text{suma máxima de la parcela } i} \right] \times 100;$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de agave azul fue considerado novedoso, no se encontró antecedente del cultivo en seis de los ocho municipios de la región. En Tonaya y Tuxcacuesco se

consideró como referencia inmediata el cultivo de agave verde (*Agave angustifolia* Haw), muy similar en el manejo del agave azul. Otros municipios como Autlán y Tecolotlán, experimentaron en el uso de agaves silvestres para la producción de mezcales. Las excelentes expectativas a mediados de la década de 1990 en relación a la rentabilidad que presentaba el cultivo (precios elevados), motivó a otros actores económicos (comerciantes, profesionistas, mecánicos, ganaderos) a incorporarse a la producción. Las referencias de manejo que se tenían eran las que realizaban las compañías tequileras en otras regiones del estado y en la misma región. Los productores que no contaban con tierra comenzaron a rentarla, consiguieron los hijuelos (plántulas) en Tequila y la región de los Altos de Jalisco, hasta adaptar un sistema de acuerdo a su experiencia en otros cultivos. La densidad de plantación varió dependiendo de la capacidad de inversión de cada productor hasta la capacidad técnica máxima del terreno, la lógica de producción fue la de a mayor densidad, mayor ganancia. Como se observa en el Tabla 2, la distancia entre plantas coincide en la mayoría a 1 m, pero la distancia entre surcos varía desde 2 hasta 4.5 m.

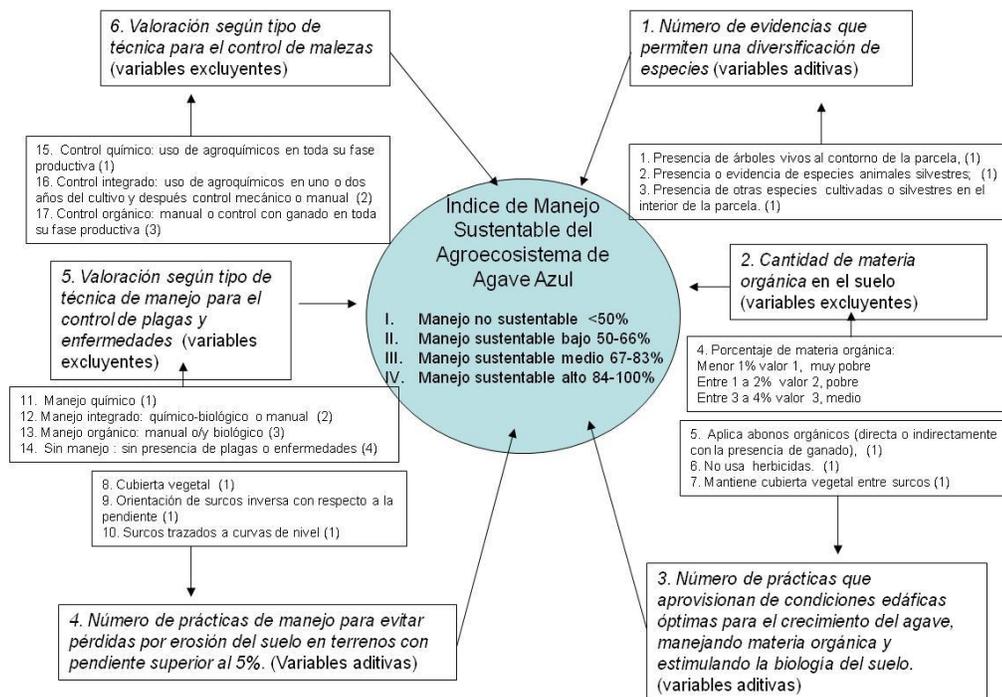


Figura 2. Integración del Índice de Manejo Sustentable del Agroecosistema de Agave Azul.

El rendimiento depende de la densidad de plantas por hectárea y del peso promedio a la jima. En las parcelas de la muestra, la densidad mínima fue de 2,222 y la máxima 4,167 plantas ha⁻¹; el peso promedio a la jima varió de 30 a 60 kg. La combinación de estos factores y las condiciones de la parcela produjeron rendimientos muy variables, desde 86 hasta 200 ton ha⁻¹. Según Zinck (2002) la meta de rendimiento a perseguir debería ser la de rendimiento máximo sustentable, no la del máximo rendimiento posible. Los datos que aparecen en la Tabla 2, muestran que no siempre el máximo número de plantas ha⁻¹ nos permite un mayor rendimiento. El peso promedio estimado tiene una relevancia igual de importante y éste depende de factores climáticos, de la calidad de los suelos en los que se desarrolla y del manejo técnico aplicado.

Indicador 1. Número de evidencias que permiten una diversificación de especies

La biodiversidad según Altieri (2000), promueve una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas, cuando éstos se pierden los costos pueden ser significativos. Las interacciones en sistemas diversificados son aquellas en las que los productos de un componente se utilizan en la producción de otro (hierbas y pastos que sirven de alimento al ganado, estiércol del ganado que sirve como abono para el suelo, presencia de aves que viven en los árboles del contorno y que ayudan en el control biológico de insectos plaga). La biodiversidad puede subsidiar el funcionamiento del agroecosistema al proveer al sistema reciclaje de nutrientes, control

biológico de plagas y conservación de agua y suelo. Las especies con presencia o evidencia en las parcelas de muestra fueron las siguientes: Especies arbóreas de contorno: *Acacia cochliacantha*, *Caesalpinia calaco*, *Prosopis laevigata*, *Acacia farnesiana*, *Zizipus amole*, *Nicotiana glauca*, *Leucaena leucosefala*, *Acacia acantholoba*, *Coursetia carabaea*, *Paulinia sessiliflora*, *Tabeberia Crysanta*, *Guajaba*, *Pithecolobium dulce*, *Lysiloma microphyllum*, *Stenocercus queretaroensis*, *Nicotiana glauca*, *Opuntia sp.*, *Ipomoea arborea*. Familias y especies arbustivas o herbáceas: asteráceas, malváceas, cucurbitáceas, poáceas, leguminosas, *Sarcostemia*, *Rhynchosia mínima*, *Euforbia sp.*, *Asdopia curosavica*. *Rhynellictrum roseum*, *celtis iguanea*, *solanum*, *Asclepias curassavica*, *Ricinus officinalis*, *Rhynellictrum roseum*, *Marina sp.* y *Tagetes sp.*

Clases de fauna silvestre: aves (diversas), reptiles (lagartijas, víbora), insectos (Chapulín, hormiga, grillo, arañas, escarabajo, avispas y abejas) mamíferos (conejo, rata, tejón).

Para Sans (2007), el monocultivo, la fertilización química, el exhaustivo control de maleza o arvenses mediante laboreos convencionales o la aplicación de herbicidas y el control de plagas con plaguicidas; disminuyen la biodiversidad. En cambio, la diversificación de los hábitats mediante rotaciones, policultivos, cultivos de cobertura, mantenimiento de la vegetación de los márgenes, fertilización orgánica y laboreos superficiales se asocian con un incremento de la biodiversidad.

Tabla 2. Rendimiento estimado con base en la densidad de siembra .

Parcela	Distancia entre planta (m)	Distancia entre surco (m)	Densidad (plantas ha ⁻¹)	Peso promedio estimado a la Jima (kg)	Rendimiento (ton ha ⁻¹)
1	1.0	2.8	3571	50	179
2	1.0	3.0	3333	40	133
3	1.0	2.5	4000	35	140
4	1.0	3.5	2857	30	86
5	1.0	3.0	3333	40	133
6	0.8	3.0	4167	40	167
7	1.0	3.0	3333	45	150
8	1.0	2.5	4000	50	200
9	1.0	4.0	2500	60	150
10	1.0	3.5	2857	60	171
11	1.0	2.5	4000	35	140
12	1.0	4.5	2222	45	100
13	1.0	2.8	3571	45	161
14	1.7	2.0	2941	40	118
15	1.0	2.9	3448	40	138
16	1.0	3.0	3333	40	133

La mayoría de las parcelas (15/16) tienen valores igual o superior a 2, esto significa que realizan un manejo sustentable en la escala media a alta, que permite mantener la biodiversidad. La variable 3, relativa a la presencia de otras especies cultivadas o silvestres en el interior de la parcela, no tuvo una respuesta favorable, lo que da una idea parcial que en 11 de las 16 parcelas se produce el agave azul como un monocultivo (Tabla 3).

Tabla 3. Indicador 1. Número de evidencias que permiten una diversificación de especies.

Variable	Parcelas (n = 16)
Presencia de árboles vivos al contorno de la parcela	15
Presencia o evidencia de especies animales	16
Presencia de otras especies cultivadas o silvestres en el interior de la parcela	5
Escala de manejo sustentable:	
0 = nulo	0
1 = bajo	1
2 = medio	10
3 = alto	5
4 = óptimo	0

Indicador 2. Cantidad de materia orgánica en suelo

El suministro continuo de materia orgánica mediante la adición regular de compuestos orgánicos (abono) y la promoción de la actividad biótica del suelo, es una práctica favorable que permite incrementar la vida de microorganismos necesarios en el suelo. Por otro lado, las prácticas de quema de residuos de cosecha, el uso constante de herbicidas y el escaso uso de abonos orgánicos disminuye la cantidad de materia orgánica en los suelos. Los porcentajes de materia orgánica (Tabla 4) encontrados en las muestras indican que la mayoría de los suelos caen en las categorías de pobre a medio, solamente una parcela tiene valores menores a 1 % de materia orgánica que corresponde a una calidad de muy pobre. Los porcentajes altos (> a 3 %), no se encontraron en ninguna de las parcelas. Estos resultados no son los mejores o los óptimos, sin embargo son consecuencia de la historia productiva de cada una de las parcelas y de sus formas de manejo a través del tiempo.

Indicador 3. Número de prácticas que proveen condiciones edáficas óptimas para el crecimiento del agave, manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo

Según Alam *et al.* (2002), el manejo de la capa superficial de 8 cm del suelo es fundamental, ya que en este nivel se encuentra la mayoría de la actividad

biológica de microorganismos y de materia orgánica. En este indicador, tres de 16 parcelas tienen condiciones desfavorables para un manejo sustentable. La variable uso de herbicidas muestra valores no deseados. La mitad de las parcelas usa herbicidas en alguna etapa del cultivo. En relación a la escala de manejo, 13 de las 16 parcelas tienen un manejo de medio – alto. El uso de ganado (Figura 3) es una de las formas más adecuadas y baratas para adicionar abono, además de reducir el uso de herbicidas para el control de maleza.

Tabla 4. Indicador 2. Cantidad de materia orgánica en suelo.

Variable	Parcelas (n=16)
Valores menores a 1 % de materia orgánica (muy pobre)	1
Valores entre 1 y 2 % de materia orgánica (pobre)	7
Valores entre 2 y 3 % de materia orgánica (medio)	8
Valores mayores a 3 % de materia orgánica (alto o rico)	0
Escala de manejo sustentable	
0 = nulo	0
1 = bajo	1
2 = medio	7
3 = alto	8
4 = óptimo	0

Tabla 5. Indicador 3. Número de prácticas que proveen condiciones edáficas óptimas para el crecimiento del agave, manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo.

Variable	Parcelas (n=16)
Aplica abonos orgánicos (directa o indirectamente con la presencia de ganado)	13
Uso de herbicidas	8
Mantiene cubierta vegetal entre surcos	15
Escala de manejo sustentable	
0 = nulo	1
1 = bajo	2
2 = medio	5
3 = alto	8
4 = óptimo	0

Indicador 4. Número de prácticas de manejo para evitar pérdidas por erosión del suelo en terrenos con pendiente superior al 5 %

Sólo una parcela realiza prácticas de curvas de nivel (Figura 4), 15 de las 16 parcelas mantienen cubierta vegetal y orientan los surcos en forma inversa a la pendiente (Tabla 6). Estas prácticas tienen que ser conjuntas para obtener mejores resultados de lo contrario siempre habrá un riesgo de erosión. Martínez, *et. al.* (2007) indica que el cultivo del agave en suelos totalmente desnudos puede tener una producción de sedimentos de cerca de 20 ton ha⁻¹ cada año variando este dependiendo del tipo de suelo y la pendiente del terreno. La importancia de tener un manejo sustentable es evitar a lo máximo ésta pérdida que se vuelve crítica en parcelas en las que no se realiza ninguna de las tres prácticas y aunque no aparecen en la muestra existen ejemplos en la región de estudio con estas características (Figura 5).



Figura 3. Pastoreo de equinos en parcela de agave azul, municipio de Tecolotlán, Jalisco. Práctica que reduce el uso de herbicidas y proporciona abono orgánico al suelo.



Figura 4. Parcela de agave azul en el municipio de Autlán Jalisco en terrenos con pendientes suaves, usando surcos a curvas de nivel.



Figura 5. Parcela de agave azul en el Municipio de Tonaya, Jalisco con pendientes superiores a 5 % y con surcos orientados en el mismo sentido de la pendiente y escasa o nula cubierta vegetal, prácticas de manejo no sustentable.

Indicador 5. Valoración según tipo de manejo para el control de plagas, enfermedades

El manejo químico se usó en 10 de las 16 parcelas, sólo una parcela utilizó el manejo orgánico. La plaga mencionada por lo productores como la más importante por las pérdidas económicas que representa, fue el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus gyllenhal*), vector de la enfermedad pudrición del cogollo (*Erwinia caratovora*) (Solis, 2002). Es probable que esta plaga se haya propagado a través de hijuelos contaminados en las dos principales regiones (Centro y Los Altos) y que fueron llevados a la región de estudio desde las primeras plantaciones por desconocimiento de los productores. Se aplica para su control Furdán 5G (carbofurán), granulado o líquido.

Tabla 6. Orientación de los surcos con respecto a la pendiente.

Variable	Parcelas (n=16)
Cubierta vegetal	15
Orientación de surcos inversa con respecto a la pendiente	13
Surcos trazados a curvas de nivel	1
Escala de manejo sustentable	
0 = nulo	0
1= bajo	4
2= medio	11
3= alto	1
4= óptimo	0

Tabla 7. Indicador 5. Valoración según tipo de manejo para el control de plagas, enfermedades.

Variable	Parcelas
Manejo químico	10
Manejo integrado: químico-biológico o manual	2
Manejo orgánico: manual o/y biológico	1
Sin manejo: sin presencia de plagas o enfermedades	3
Escala de manejo sustentable	
0 = nulo	0
1= bajo	10
2= medio	2
3= alto	1
4= óptimo	3

Indicador 6: valoración según tipo de control de malezas

Dos de los 16 productores utilizó en su totalidad un control químico (Figura 6), siete productores usaron un control integrado aplicando herbicidas al inicio de las plantaciones (dos años) y los últimos años realizaron un control mecánico o manual. Se encontró que siete productores utilizaron ganado para el control de malezas combinándolo con labores manuales para su control (Tabla 8 y Figura 3). Se aplicaron herbicidas nombrados comercialmente como: Krovar I DF, Combine y Faena; el proceso fue aplicar un herbicida sellador antes de la época de lluvia y otro herbicida de contacto después de que finalizó la época de lluvia.

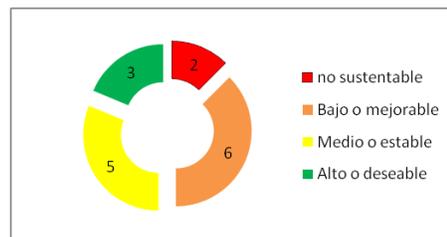


Figura 6: Control químico de maleza, suelos completamente desprotegidos. Ejido el Aguacate, El Grullo, Jalisco.

De los seis indicadores, el indicador 5 fue el que tuvo una mayor cantidad de parcelas en la categoría de manejo sustentable bajo, la variable crítica fue el manejo químico en el control de plagas y enfermedades.

Índice de Manejo Sustentable del Agroecosistema

De las 16 parcelas evaluadas, dos fueron clasificadas con un manejo no sustentable, seis presentaron un manejo sustentable bajo, cinco se clasificaron con un manejo sustentable medio y tres con un manejo sustentable alto (Tabla 9 y Gráfica 1).



Gráfica 1. Clasificación de parcelas por tipo de manejo sustentable.

Tabla 8. Indicador 6: valoración según tipo de control de malezas

Variable	Parcelas
Control químico: uso de agroquímicos en toda su fase productiva	2
Control integrado: uso de agroquímicos en uno o dos años del cultivo y después control mecánico o manual	7
Control orgánico: manual o control con ganado en toda su fase productiva	7
Escala de manejo sustentable	
0 = nulo	0
1= bajo	2
2= medio	7
3= alto	7
4= óptimo	0

Las parcelas que resultaron clasificadas con un manejo no sustentable presentaron valores bajos por realizar un manejo químico de plagas y enfermedades, control químico de maleza o uso de herbicidas, no mantener cubierta vegetal, ni usar curvas de nivel. En el caso de la parcela número siete, además de los anteriores, el indicador de biodiversidad resultó bajo, ya que no mantuvo vegetación alrededor de la parcela ni dentro de la misma, se trata de un monocultivo.

La interpretación del índice es la siguiente: parcela número 4, presenta un IMSA de 89.47 %. Este valor indica que la parcela aplica un 89.47 % de las prácticas, técnicas o tecnologías que garantizan un manejo sustentable, como este valor es mayor a 83 % se clasifica en la categoría de alto o deseable. Esta parcela requiere elevar sus prácticas sustentables en alguna variable del indicador 1 (Presencia de otras especies cultivadas o silvestres en el interior de la parcela) y en el indicador 4 (curvas de nivel en terrenos con pendientes superiores a 5 %).

Tabla 9. Cálculo del Índice de Manejo Sustentable del Agroecosistema (IMSA) de Agave Azul.

Parcela/índice	1	2	3	4	5	6	Suma	Escala máxima	IMSA (%)	Categoría
1	2	3	0	1	1	1	8	19	42.11	No sustentable
2	2	2	3	2	2	3	14	19	73.68	Medio
3	3	3	3	2	1	3	15	19	78.95	Medio
4	2	3	3	2	4	3	17	19	89.47	Alto
5	2	2	2	1	1	2	10	19	52.63	Bajo
6	2	3	2	2	1	2	12	19	63.16	Bajo
7	1	2	1	2	1	1	8	19	42.11	No sustentable
8	2	3	2	2	1	2	12	19	63.16	Bajo
9	3	3	3	2	3	3	17	19	89.47	Alto
10	2	2	3	2	1	3	13	19	68.42	Medio
11	2	2	3	3	1	3	14	19	73.68	Medio
12	3	3	3	1	2	3	15	19	78.95	Medio
13	3	3	3	2	4	2	17	19	89.47	Alto
14	3	1	1	1	4	2	12	19	63.16	Bajo
15	2	2	2	2	1	2	11	19	57.89	Bajo
16	2	2	2	2	1	2	11	19	57.89	Bajo

CONCLUSIONES

Hipotéticamente se consideró que existían prácticas de manejo no sustentable en el agroecosistema de agave azul. Los resultados demostraron que aunque existen prácticas de manejo que no son sustentables en parcelas de agave azul (manejo químico de plagas y enfermedades, uso de herbicidas, no mantienen cubierta vegetal, no usan curvas a nivel y no favorecen la biodiversidad), en la mayoría de las parcelas con productores independientes muestreadas, las prácticas, técnicas y/o tecnologías de manejo sustentable son superiores a las que resultan no sustentables. Solamente dos parcelas resultaron con un manejo no sustentable. Lo anterior, no es señal que la mayoría de las parcelas de la región se comporten de la misma forma, esta conclusión es válida únicamente para la muestra evaluada. Sin embargo, muestra ejemplos regionales de manejo sustentable que pueden difundirse entre los productores que deseen mejorar su agroecosistema.

Aunque el IMSA clasificó a la mayoría de parcelas en alguna categoría de manejo sustentable, es necesario que los productores que tienen en sus parcelas indicadores con valores de 0 o 1, deban incorporar por lo menos otra práctica, técnica o tecnología que eleve su nivel de manejo sustentable en sus parcelas. El IMSA proporciona información de cómo se realiza el manejo del agroecosistema. Sin embargo, no debe considerarse como el único índice para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema.

Por tanto, el IMSA con valores cualitativos resulta ser una metodología apropiada cuando se requiere

información rápida para la toma de decisiones de manejo.

REFERENCIAS

- Alam, S.M., Ansari, R., Mujtaba, M., Khan, A., Saboohi, R. 2002. Sustainable agriculture: A system of farming. *Asian Journal of Plant Sciences* 1(1): 75-76.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2000. *Agroecología: Teoría y Práctica para una Agricultura Sustentable*. FAO y PNUMA.
- Altieri, M.A. 1999. *Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Nordan Comunidad. Montevideo, Uruguay. 325 p.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Rio de Janeiro, Brasil. Junio 1992.
- Corbiere-Nicollier, T., Ferrari, Y., Jomelin Ch., Jolliet, O. 2003. Assessing sustainability: An assessment framework to evaluate Agenda 21 actions at the local level. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 10(3): 225-237.
- FAO. 1993. *FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management*. Land and Water Development Division. Rome, Italy.
- Gliessman, S.R. 2002. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sustentable*. Centro

- Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica) CATIE. p. 17.
- Granados, D. 1993. Los Agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo.
- López-Ridaura, S., van Keulen, H., van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A. 2005. Multi-scale sustainability evaluation of natural resources Management Systems: Quantifying indicators for different scales of analysis and their trade-offs using linear programming. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 12: 81-97.
- Martínez, R.L.M., Gerritsen, P.R.W., Rosales, A.J.J., Moreno, H.A., Contreras, M.S., Solís, M.A., Rivera, C.L.E., Cárdenas, H.O.G., Iñiguez, D.L.I., Cuevas, G.R., Palomera, G.C., García, R.E., Aguirre, G.A., Olgún, L.J.L. 2007. Implicaciones socioambientales de la expansión del cultivo de agave azul (1995-2002) en el municipio de Tonaya, Jalisco, México. En: Colunga, P. *et. al* (eds.). *En lo Ancestral Hay Futuro: Del Tequila, los Mezcales y otros Agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. pp. 265- 284.
- Ortiz-Solorio, V.B, Ortiz, S.C. 1990. Edafología. Séptima edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos.
- Sans, F.X. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. *Revista Eosistemas* 16(1): 44-49.
- Solis, A.J.F. 2004. El picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus gyllenhal* (Coleoptera Curculionidae) en Jalisco, México. En: Avances de la Investigación en Agave Tequilero, Consejo Regulador del Tequila.
- Zinck, J.A., Berroterán, J.L., Farshad, A., Moament, A. Mokabi, S., Van Ranst, E. 2002. Approaches to assessing sustainable agricultura. *Ciencia del Suelo* 20(2): 55-68.

*Submitted September 29, 2009 – Accepted November 05, 2009
Revised received August 20, 2010*