

CONTRIBUCIÓN DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL AL DESARROLLO SUSTENTABLE DE TRES AGROECOSISTEMAS CAMPESINOS

Contribution of the Environmental Dimension to Sustainable Development of Three Peasant Agroecosystems

Ricardo Casas-Cázares^{1‡}, Félix V. González-Cossio¹, Edmundo García-Moya¹, Tomás Martínez-Saldaña¹ y Benjamín V. Peña-Olvera²

RESUMEN

Se evaluó la sustentabilidad de tres agroecosistemas campesinos, la contribución o inhibición de sus dimensiones ambiental, social y económica, y las variables con que se asocian, a través del índice relativo de sustentabilidad (IRS). El IRS integra las dimensiones y las variables de cada dimensión, con la misma ponderación y sin transformación entre ellas, y cuantifica la sustentabilidad y la contribución de sus dimensiones con un grupo reducido de variables seleccionadas por funciones discriminantes. La escala del IRS varía entre 0 y 1. Existen diferencias en la sustentabilidad entre los agroecosistemas y la contribución de sus dimensiones ($P = 0.0001$). El IRS de 0.518 para los sistemas campesinos de Oaxaca, México, se califica como bajo. La contribución de la dimensión ambiental es ligeramente mayor que la social y superior a la económica. Las variables que se relacionan con la condición física y química del suelo, su fertilización, así como la disponibilidad de tierra y agua, son las variables que más explican las diferencias ambientales entre los agroecosistemas.

Palabras clave: índice, cuantificación, ambiente, sustentabilidad, agrosistemas.

SUMMARY

The sustainability of three agroecosystems, the contribution or inhibition of ecological, social, and economical dimensions, and the associated parameters

were evaluated with the relative sustainability index (RSI). The RSI integrates the dimensions and the parameters of each dimension with the same weighting and without transformations among them. At the same time it quantifies sustainability and the contribution of its dimensions with a reduced number of parameters selected by discriminated functions. The RSI scale varies from 0 to 1. There are differences ($P = 0.0001$) in the sustainability of the agroecosystems in Valles Centrales, Oaxaca, Mexico, with RSI of 0.518 was considered low. The contribution of the environmental dimension is slightly higher than the social dimension and superior to the economic dimension. The parameters that are related to physical and chemical soil conditions, its fertilization, as well as land and water availability, were the parameters that most explained the environmental differences among agroecosystems.

Index words: index, quantifying, environment, sustainability, agrosystems.

INTRODUCCIÓN

Ante la preocupación de una permanencia digna del ser humano en la tierra, se ha propuesto el paradigma de desarrollo sustentable (DS), o sustentabilidad, como un modelo alternativo al desarrollo actual basado en el capitalismo neoliberal, el cual conduce cada vez más a una mayor polarización de las condiciones sociales y económicas de la población humana y a una disminución de los recursos naturales (Ruckelhauss, 1989). La sustentabilidad está asociada a la transformación de los ámbitos social, económico y ambiental en que se desenvuelve el ser humano, con el propósito de satisfacer sus necesidades presentes y futuras bajo estrategias elaboradas para tal fin (Casas *et al.*, 2001), concepto que, en la actualidad, opera en la Unión Europea (Castroviejo, 2006). Sin embargo, a pesar del consenso mundial para promover el desarrollo sustentable (ONU, 1992; Parris, 2003), los avances obtenidos se han visto

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

[‡] Autor responsable (rcasas@colpos.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. 72130 Puebla, estado de Puebla.

limitados por la diversidad de concepciones, metodologías y variables, que distintas instituciones e investigadores proponen para su diseño y evaluación que, en lugar de integrar, se separan las dimensiones de la sustentabilidad, haciendo evaluaciones parciales de la misma (Spencer y Swift, 1992; Kaufmann y Cleveland, 1995; Bowers, 1997; Kates *et al.*, 2001). Se sesga su evaluación con valores de dimensiones y variables predefinidas, sugeridas por “expertos” como en las evaluaciones del International Institute for Sustainable Development (IISD, 2007a). Con la pretensión de transformar las variables ambientales o sociales al ámbito numismático de tipo económico que no respeta su naturaleza, se inserta una serie de juicios éticos y morales polémicos que sesgan la evaluación de la sustentabilidad a un área de interés afín a quien la propone y, por lo tanto, no necesariamente refleja el estado natural de sustentabilidad del sistema (Constanza y Daly, 1992; Martínez y Roca, 2000).

Para la dimensión ambiental, se tienen grandes listados de variables a diversos niveles: nacional (INEGI, 2000; DEFRA, 2007), por bloques de países como América Latina (CIAT-UNEP, 1998), a nivel internacional (IISD, 2007b; ONU, 2007), o a nivel de manejo especializado para un sistema de producción o manejo de tierra (FAO, 1993). Listados que no integran las dimensiones social y económica para evaluar la sustentabilidad. De manera ocasional, se integran algunas variables al interior de las dimensiones, generando índices, como: el índice de desarrollo humano, de bienestar social, de contaminación, de diversidad vegetal o de extinción de especies, que por sí solas no se relacionan con el resto de dimensiones y variables.

El poco avance obtenido para el logro del desarrollo sustentable se debe a que no se planea ni evalúa de forma cuantitativa al nivel básico, local, comunitario o de agroecosistema, dado que la mayoría de las propuestas se ubican, o bien, a un mayor nivel jerárquico como el nacional, internacional, o a un inadecuado nivel inferior de sistema: parcela, cultivo o hato (World Bank, 1997). En este ensayo, se considera al agroecosistema como el nivel básico de planeación de la sustentabilidad, por ser un área geográfica definida, en la que se establecen relaciones sociales, económicas y ambientales que transforman a la naturaleza y al hombre mismo con fines de su permanencia. De manera que no es el hombre, ni la parcela, el cultivo, el hato, el suelo o el agua que son sustentables, sino todo el sistema en su conjunto, por lo que la sustentabilidad es única e indivisible.

En México, para que sea viable el desarrollo sustentable, Urquidi (2000) señala que junto a las transformaciones estructurales jurídicas, culturales, económicas, sociales y ambientales, se requiere desarrollar un marco de referencia para su diseño, operación y evaluación. El propósito de este ensayo es generar un marco de referencia en el ámbito rural, aplicando la metodología del IRS, propuesta por Casas *et al.* (2001), para cuantificar la sustentabilidad y la contribución de sus dimensiones, así como relacionar sus variables a una estrategia con énfasis en la dimensión ambiental y sus variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

El índice relativo de sustentabilidad (IRS) es una metodología *ad hoc* para evaluar la sustentabilidad a nivel comunitario o de agroecosistemas que proponen Casas *et al.* (2001), la cual en este ensayo se describe y complementa para su aplicación. El IRS parte de la visión del concepto de sustentabilidad.

Sustentabilidad

Se desarrolla en función de las relaciones que los humanos establecen entre sí (dimensión social), la transformación que hacen de la naturaleza con los instrumentos y tecnología disponible (dimensión económica), y la capacidad de la naturaleza para desarrollarse y recuperarse de la actividad del hombre (dimensión ambiental). De manera que, la sustentabilidad se calcula en términos de la igualdad:

$$S = f(Da, Ds, De)$$

donde: S = sustentabilidad y, Da, Ds y De son las dimensiones ambiental, social y económica, por lo que, el grado de sustentabilidad obtenido para cualquier sistema está en función de la contribución o inhibición de cada dimensión. Se asume que el desarrollo sustentable es un proceso en el tiempo y espacio, y que el valor que se calcula es un valor relativo de desarrollo puntual, por lo que la sustentabilidad se estima con el IRS, que incluye los mismos componentes de la sustentabilidad, es decir,

$$IRS = f(Da, Ds, De).$$

Proceso de Selección de Variables en el Índice Relativo de Sustentabilidad (IRS)

Dadas las limitaciones de recursos para impulsar programas con un número grande de variables o factores, se diseñó un método y una estrategia que reducen las variables para hacer un uso eficiente de los recursos. Con la selección de estas variables, y programas asociados a ellas, se espera reducir las diferencias sociales, económicas y ambientales entre comunidades. En atención a la naturaleza de las variables se combinaron métodos cuantitativos y cualitativos, que complementan los aspectos objetivos y subjetivos que involucra la sustentabilidad.

Diversos métodos de estadística multivariada, como componentes principales y correlaciones canónicas, se probaron para cuantificar la sustentabilidad, pero sólo el análisis de funciones discriminantes se adecuó al análisis de la base de datos probada y a los objetivos planteados. La función discriminante o el criterio de clasificación de los individuos en grupos conocidos, se basa en la estimación de la distancia de Mahalanobis, la cual pondera las varianzas de las variables bajo estudio y elimina sus correlaciones, lo cual hace posible comparar variables de distinta naturaleza, con el mismo peso (Manly, 1986). Es decir, las variables originales se seleccionaron por su mayor variación ecológica, económica y social entre las comunidades, con base en los mayores valores de los coeficientes canónicos estandarizados de las nuevas variables, llamadas funciones discriminantes. Para comparar los grupos de interés, en este caso las comunidades, se aplicó una serie de pruebas de estadística multivariada.

Cuantificación y Calificación de la Sustentabilidad

El grupo de variables seleccionado por funciones discriminantes se estandarizó y calificó, para ponderar y cuantificar la contribución de cada variable en su dimensión, y de cada dimensión a la sustentabilidad, a través de una serie de ecuaciones que se propone para tal propósito:

$$IRS_t = \left(\sum_{k=1}^{k_t} C_{k_t} * I_{k_t} \right) / I_{k_t} * e \quad (1)$$

$$IRS_t = \left(\sum_{k=1}^{k_t} C_{k_t} * I_{k_t} \right) / \sum_{k=1}^{k_t} I_{k_t} \quad (2)$$

$$IRS_t = \sum_{k=1}^{k_t} \sum_{i=1}^{I_{k_t}} V_{ikt} / I_{k_t} * e \quad (3)$$

donde: C_{kt} = la contribución de la dimensión o atributo k -ésimo al IRS, en el tiempo t -ésimo; I_{kt} = el número de variables o indicadores de las k dimensiones o atributos en el tiempo t ; k_t = las dimensiones o atributos en el tiempo t ; V_{ikt} = el valor del i -ésimo indicador en la escala de Likert, donde: $i = 1, 2, 3, \dots, I_{kt}$. $k = 1, 2, 3, \dots, k_t$. y, $t = 1, 2, 3, \dots, T$; e es el valor máximo absoluto de la escala Likert de los V_{ikt} ; IRS_t = índice relativo de sustentabilidad en el tiempo t .

La escala Likert es una escala de evaluación discreta que propone el evaluador para convertir los valores naturales en clases; estas clases son números naturales enteros que pueden variar, por ejemplo, de -5, -4, -3, -2, -1 a +1, +2, +3, +4, +5, como en la evaluación que se hace en este estudio.

La primera ecuación estima la contribución de las dimensiones (C_{kt}) para la región y por comunidad, mientras que la segunda y la tercera estiman el IRS para la región y las comunidades dentro de ésta, y $0 \leq C_{kt} \leq 1$ y el $-1 \leq IRS \leq 1$. Como la medición del IRS es un promedio ponderado de la contribución de las dimensiones, este valor es mayor de 0.5 cuando existe sustentabilidad denotando integración de las dimensiones. Por el contrario, valores de IRS menores de 0.5 muestran falta de desarrollo e integración de las dimensiones e indican ausencia de sustentabilidad (Figura 1).

Para calificar cada variable en cada dimensión, se transformaron los valores reales de la variable en una escala ordinaria con un rango definido. La calificación de la variable (X) de cada comunidad se dio de acuerdo con su ubicación en un intervalo proporcional (X_p), que se elaboró a partir de la diferencia absoluta entre el mayor y menor valor que tiene esa variable entre las comunidades. Los rangos y las calificaciones aplicadas en este ensayo se aprecian en el Cuadro 1.

Estos valores se aplicaron en la Ecuación 1 y se obtuvo la contribución ambiental al desarrollo sustentable en cada comunidad. Con este proceso de estandarización se homogeneizó la distinta naturaleza de las variables, de manera que las unidades de la sustentabilidad y contribución de las dimensiones son

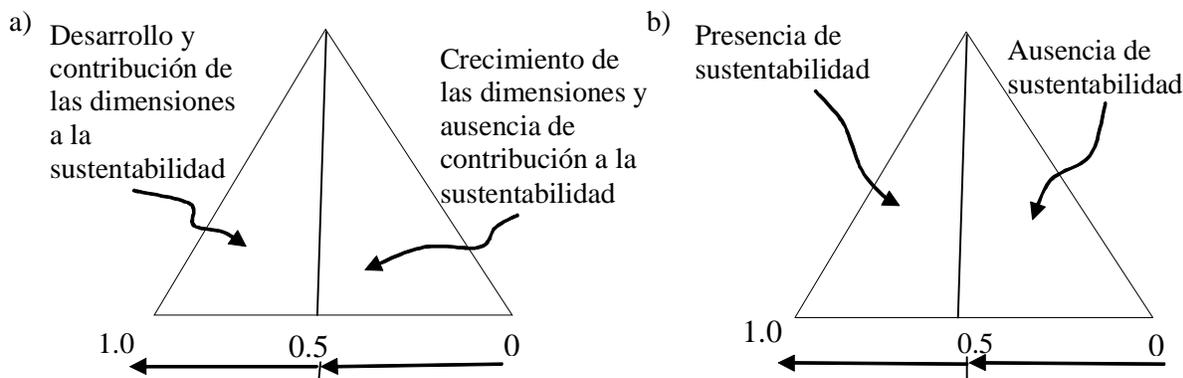


Figura 1. Escala de evaluación de las dimensiones por su contribución al desarrollo sustentable (a) y del índice relativo de sustentabilidad (IRS) (b).

Cuadro 1. Proceso de transformación y calificación de los valores reales de una variable continua a una escala discreta, empleando cinco rangos, de acuerdo con su tendencia de promover (+) o inhibir (-) la sustentabilidad.

Calificación	Condición del intervalo	Donde:
Califica = ± 1	Sí $X \leq X_{(1)} + X_p$	X es la variable en evaluación.
Califica = ± 2	Sí $X_{(1)} + X_p > X \leq X_{(1)} + 2X_p$	$X_{(1)}$ es el menor valor absoluto de la variable.
Califica = ± 3	Sí $X_{(1)} + 2X_p > X \leq X_{(1)} + 3X_p$	$X_{(5)}$ es el valor absoluto mayor de la variable.
Califica = ± 4	Sí $X_{(1)} + 3X_p > X \leq X_{(1)} + 4X_p$	X_p es la parte proporcional del espacio de evaluación de la variable $(X_{(5)} - X_{(1)}) / 5$.
Califica = ± 5	Sí $X > X_{(5)} - X_p$	

adimensionales. Para transformar a porcentaje la contribución de las dimensiones y del IRS se restó 0.5 a los valores de calificación obtenidos en la dimensión y en el IRS; el producto de esta resta se tomó como un valor absoluto y se multiplicó por 200, con lo que se obtuvieron valores en una escala del 0 al 100% de sustentabilidad. Para priorizar la asignación de recursos que promueva la sustentabilidad se califica por quintiles con las variantes de muy baja, baja, mediana, alta y muy

alta ausencia o presencia de sustentabilidad y de contribución de la dimensiones, de acuerdo con la ubicación de su evaluación en los 10 rangos de calificación propuestos (Cuadro 2).

Región de Estudio

El Trapiche, municipio de Santa Cruz Mixtepec, distrito de Zimatlán, El Cuajilote, municipio de

Cuadro 2. Relación de la evaluación y calificación de la sustentabilidad y de las dimensiones con la orden de prioridad de atención.

Descripción de la calificación de las dimensiones	Calificación porcentual	Escala de evaluación del IRS y dimensión	Calificación porcentual de la sustentabilidad	Descripción de la calificación de la sustentabilidad	Prioridad de atención
Muy alta	80 – 100	0.0 - 0.1	80 – 100	Muy alta	1
Alta	60 – 80	0.1 - 0.2	60 – 80	Alta	2
Mediana	40 – 60	0.2 - 0.3	40 – 60	Mediana	Ausencia
Baja	20 – 40	0.3 - 0.4	20 – 40	Baja	
Muy baja	0 – 20	0.4 - 0.5	0 – 20	Muy baja	5
Muy baja	0 – 20	0.5 - 0.6	0 – 20	Muy baja	6
Baja	20 – 40	0.6 - 0.7	20 – 40	Baja	7
Mediana	40 – 60	0.7 - 0.8	40 – 60	Mediana	Presencia
Alta	60 – 80	0.8 - 0.9	60 – 80	Alta	
Muy alta	80 – 100	0.9 - 1.0	80 – 100	Muy alta	10

El Progreso, distrito de Ocotlán, y San Juan de Dios, municipio de Reyes, distrito de Etla fueron las comunidades estudiadas y tienen condiciones similares más del 50% de la superficie en laderas y planicies en la que se practica agricultura y ganadería en la región Valles Centrales de Oaxaca.

Variables Evaluadas

La evaluación de la sustentabilidad se inició con 91 variables: 32 ambientales, 42 sociales y 17 económicas, divididas en dos grupos. El primero agrupó 28 variables que presentaron un promedio similar entre las comunidades y no se incluyeron en la cuantificación de la sustentabilidad. El segundo grupo incluyó 63 variables (27, 20 y 16 variables de la dimensión ambiental, social y económica, respectivamente) con un promedio diferente, con las cuales se cuantificó la sustentabilidad y se les aplicó el análisis multivariado de funciones discriminantes con

el programa estadístico del programa SAS (SAS Institute, 1985). La información analizada se obtuvo de 55 unidades de producción familiar y el tamaño de muestra determinado con la técnica de muestreo simple al azar con una precisión del 90%. Las observaciones se hicieron con base en la unidad familiar, por miembro de familia o por hectárea, según la naturaleza de la variable.

En el Cuadro 3 se listan las variables de tipo ambiental, así como su tendencia a la sustentabilidad, la cual se asocia a valores crecientes o decrecientes de las mismas, lo que se relaciona con los símbolos $>$ ó $<$, respectivamente, o neutral, dependiendo de la naturaleza de la variable. Este mecanismo permite llegar por aproximaciones a un nivel deseado de la variable, sin definir su valor óptimo, y el criterio de su tendencia se basa en el sentido común y el conocimiento básico de las ciencias naturales, económicas y sociales.

El procedimiento, realizado para la selección de variables con las que se cuantifica la sustentabilidad y la contribución de sus dimensiones, en el IRS es

Cuadro 3. Listado de variables de la dimensión ambiental por familia o miembro de la familia.

Variable [†]	Unidad de medida	Tendencia a la sustentabilidad	Variable [†]	Unidad de medida	Tendencia a la sustentabilidad
X1	Número de parcelas	>	X17	Número de prácticas	> X17
X2	ha persona ⁻¹	>	X18	Número de prácticas	> X18
X3	ha persona ⁻¹	>	X19	kg ha ⁻¹	< X19
X4	ha persona ⁻¹	>	X20	kg ha ⁻¹	>X20
X5	ha persona ⁻¹	<	X21	kg ha ⁻¹	< X21
X6	ha persona ⁻¹	>	X22	kg ha ⁻¹	> X22
X7	cm	>	X23	Número ordinario	<
X8	g cm ⁻³	<	X24	Número de especies	>
X9	kg m ⁻² carbono	>	X25	Número ordinario	<
X10	10 ⁴ me m ⁻²	>	X26	Unidades	<
X11	kw h ⁻¹ año ⁻¹ persona ⁻¹	<	X27	h d ⁻¹	>
X12	L año ⁻¹ persona ⁻¹	<	X28	Adimensional	pH = 7.0
X13	L año ⁻¹ persona ⁻¹	<	X29	kg d ⁻¹ persona ⁻¹	<
X14	kg año ⁻¹ persona ⁻¹	<	X30	Número de cultivos	<
X15	kg d ⁻¹ persona ⁻¹	<	X31	Número de plaguicidas	<
X16	L d ⁻¹ persona ⁻¹	<	X32	Numero ordinario	<

[†] X1 = número de parcelas por familia; X2 = superficie de cultivo de riego; X3 = superficie de cultivo de temporal; X4 = superficie de cultivo total; X5 = superficie abonada químicamente; X6 = superficie abonada orgánicamente; X7 = profundidad media de suelo agrícola (horizonte Ap); X8 = densidad aparente del suelo; X9 = carbono orgánico del suelo; X10 = capacidad de intercambio catiónico; X11 = consumo de energía eléctrica en el hogar; X12 = consumo de gasolina; X13 = consumo de diesel; X14 = consumo de gas; X15 = consumo de leña; X16 = consumo de agua en el hogar; X17 = número de prácticas de fertilización orgánica del suelo (1. estiércol, 2. compost, 3. abono verde, 4. integración de esquilmos agrícolas); X18 = prácticas de conservación de suelo (1. labranza mínima, 2. siembra en surcos o franjas en curvas en contorno); X19 = variación del rendimiento de maíz en los últimos cinco años; X20 = rendimiento medio de maíz en los últimos cinco años; X21 = variación del rendimiento medio de frijol en los últimos cinco años; X22 = rendimiento medio del frijol en los últimos cinco años; X23 = fuente de disponibilidad de agua (1. temporal, 2. río, 3. presa, 4. combina, 5. pozo superficial, 6. pozo profundo); X24 = diversidad pecuaria; X25 = efecto climático en cultivos (1. leve, 2. regular, 3. severo); X26 = semilla empleada (1. criolla, 2. mejorada, 3. ambas); X27 = trabajo diario del jefe de la familia; X28 = pH del suelo; X29 = basura inorgánica total; X30 = diversidad de cultivos; X31 = número de plaguicidas empleados; X32 = fuerza de tracción empleada para fines agrícolas (1. animal, 2. mecánica, 3. ambas). Las variables fisicoquímicas del suelo son promedios ponderados por tipo de tierras de cada productor, de acuerdo con perfiles de ocho tipos de tierras clasificadas para El Trapiche y El Cuajilote y siete tipos de tierras para San Juan de Dios.

un proceso *a posteriori* que valora el estado natural o inicial de la sustentabilidad del sistema, lo cual evita sesgar la evaluación de la sustentabilidad con valores predefinidos (IISD, 2007a), o por transformaciones numismáticas de las variables sociales y ambientales al ámbito económico (Constanza y Daly, 1992; Martínez y Roca, 2000).

Reducción de las Variables y la Contribución de las Dimensiones al Desarrollo Sustentable y su Estrategia

Con dos aplicaciones sucesivas de funciones discriminantes se redujo el número de variables ambientales para evaluar la sustentabilidad. El primer análisis de funciones discriminantes disminuyó de 27 a 16 las variables ambientales y, el segundo, de 16 a 6 variables. Una situación semejante ocurrió con las variables de la dimensión social y económica. Con el conjunto final integrado por 18 variables, seis de cada dimensión, se calificó la sustentabilidad y se les aplicó también el procedimiento de funciones discriminantes, identificando las variables de naturaleza ambiental, social y económica que diferenciaron aún más las comunidades, las cuales se proponen como elementos para el diseño de una estrategia que promueva el desarrollo sustentable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de Variables Ambientales

Los valores propios de las funciones discriminantes del análisis estadístico, aplicado a las 16 variables de

tipo ambiental, indican que la primera función discriminante (FD1) explica 81% de la variación, mientras que la segunda (FD2) explica 19% restante. El hecho de que la FD1 explica una alta variabilidad, implica que el modelo es apropiado a la naturaleza de los datos, y la mayor evidencia de ello es la concordancia con la realidad social, económica y ambiental contrastante observada en las tres comunidades evaluadas.

Las diferencias ambientales entre las comunidades son altamente significativas ($P = 0.0001$), tanto en la distancia cuadrada de Mahalanobis, como en las pruebas de estadísticas multivariadas, Lambda, de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Lowly-Hotelling y Raíz máxima de Roy, así como la Prueba de Razón de Verosimilitud para las Funciones discriminantes 1 y 2 (Cuadro 4).

Los coeficientes canónicos estandarizados de las funciones discriminantes dentro de clases señalan a las variables: superficie de riego (X2), de temporal (X3), fertilizada químicamente (X5) por miembro de la familia, profundidad media del suelo agrícola (X7), densidad aparente del suelo promedio por tipo de tierras (X8), y la capacidad de intercambio catiónico (X10), como las variables de mayor peso que más explican las diferencias ambientales entre comunidades (Cuadro 5).

Calificación de Variables Ambientales y su Contribución al Desarrollo Sustentable

La transformación y la calificación de los valores promedio originales de las variables se hicieron de acuerdo con el proceso señalado en el Cuadro 1 y

Cuadro 4. Pruebas de estadística multivariada en el análisis de funciones discriminantes para 16 variables de la dimensión ambiental en tres agroecosistemas de Oaxaca.

Distancia cuadrada de Mahalanobis entre comunidades			
Comunidad	El Trapiche	El Cuajilote	San Juan de Dios
El Trapiche	0	35.00**	59.03**
El Cuajilote		0	105.84**
San Juan de Dios			0
Valores de pruebas de estadística multivariada			
Estadística	Valor		
Lambda de Wilk	0.0093**		
Traza de Pillai	0.7246**		
Traza de Hotelling-Lawley	23.1581**		
Raíz máxima de Roy	18.7555**		
Prueba de verosimilitud para las funciones discriminantes			
	Función discriminante	Función discriminante 20.18509	
Proporción de similitud	10.00936**	**	

** indica la significancia a valores de $P = 0.0001$.

Cuadro 5. Relación de los coeficientes canónicos estandarizados de funciones discriminantes FD1 y FD2 con las variables originales dentro de clases.

Variable original [†]	Coeficientes canónicos estandarizados		Variable original [†]	Coeficientes canónicos estandarizados	
	FD1	FD2		FD1	FD2
X2	0.231	0.826	X11	-0.253	-0.738
X3	1.286	-0.913	X12	0.172	-0.038
X4	-0.251	0.557	X16	0.104	0.545
X5	-1.107	0.534	X19	-0.527	-0.225
X7	0.793	0.258	X21	-0.447	0.078
X8	-0.222	0.904	X22	0.535	0.237
X9	0.41	0.569	X25	-0.319	-0.214
X10	0.785	-0.469	X26	0.011	0.576

[†] X2 = superficie de cultivo de riego por miembro de familia; X3 = superficie de temporal; X4 = superficie de cultivo total; X5 = superficie abonada químicamente; X7 = profundidad media de suelo agrícola; X8 = densidad aparente del suelo; X9 = carbono orgánico del suelo; X10 = capacidad de intercambio catiónico; X11 = consumo de energía eléctrica en el hogar; X12 = consumo de gasolina; X16 = consumo de agua en el hogar; X19 = variación del rendimiento de maíz en los últimos cinco años; X21 = variación del rendimiento medio de frijol en los últimos cinco años; X22 = rendimiento medio del frijol en los últimos cinco años; X25 = efecto climático en cultivos (1. leve, 2. regular, 3. severo); X26 = semilla empleada (1. criolla, 2. mejorada, 3. ambas).

los resultados se presentan en el Cuadro 6. Los valores transformados se aplicaron en la Ecuación 1 para cuantificar la sustentabilidad y la contribución ambiental al desarrollo sustentable y los resultados se presentan en el Cuadro 7, en el cual se observa que la contribución ambiental es mayor en la comunidad de San Juan de Dios que en la comunidad de El Cuajilote, lo cual indica que la condición de los recursos de que disponen las unidades familiares de El Cuajilote es limitada.

Sustentabilidad en la Región Valles Centrales Oaxaca

Un procedimiento similar al aplicado a las variables de naturaleza ambiental se aplicó a las variables de naturaleza social y económica, y se detectaron diferencias significativas entre los agroecosistemas en estas dimensiones. El detalle de la discusión de estos resultados es objeto de otro artículo. Del Cuadro 7 se desprende que para evaluar la sustentabilidad de una región y

diseñar una estrategia para su promoción se requiere integrar las dimensiones que lo componen. La ponderación integrada de las dimensiones en el IRS, que en este caso asumió los valores de 0.52 ó 3.76% de sustentabilidad, indica una sustentabilidad muy baja para la región Valles Centrales de Oaxaca. Pero, dentro de esta baja sustentabilidad, la contribución ambiental es ligeramente mayor que la social y claramente mayor que la económica; esta última inhibe el desarrollo sustentable.

Entre las comunidades, el IRS es mayor en San Juan de Dios y menor en El Cuajilote. El Trapiche, a pesar de exhibir una condición de deficiencia en la contribución de la dimensión económica, tiene presencia de sustentabilidad igual a la regional, clasificada como muy baja. Esta situación corrobora el planteamiento de que el desarrollo sustentable es inhibido o promovido por el grado de desarrollo, integración o contribución de las dimensiones. Esto se logra a partir de, al menos, el desarrollo de dos de sus dimensiones, que pueden ser

Cuadro 6. Transformación y calificación de los valores reales de las variables ambientales seleccionadas para evaluar la sustentabilidad de tres agroecosistemas en los Valles Centrales Oaxaca, a la escala discreta de 1 a 5.

Variable original [†]	El Trapiche	El Cuajilote	San Juan de Dios	El Trapiche	El Cuajilote	San Juan de Dios	Tendencia a la sustentabilidad
	Promedio original			Calificación por su tendencia			
X2	0.354	0.139	0.422	4	1	5	>
X3	0.299	0.842	0.461	1	5	2	>
X5	0.421	0.892	0.070	3	1	5	<
X7	25.580	15.132	31.852	4	1	5	>
X8	1.704	1.567	1.502	1	4	5	<
X10	81.430	46.549	202.748	2	1	5	>

[†] X2 = superficie de cultivo de riego por miembro de familia; X3 = superficie de temporal; X5 = superficie abonada químicamente; X7 = profundidad media de suelo agrícola; X8 = densidad aparente del suelo; X10 = capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 7. Contribución de las dimensiones al desarrollo sustentable y el índice relativo de sustentabilidad (IRS) en tres agroecosistemas de los Valles Centrales, Oaxaca, México.

Comunidades	Dimensión			IRS	Sustentabilidad		
	Ambiental	Económica	Social		%	Calificación	Prioridad
El Trapiche	0.50	0.33	0.73	0.52	4.44	Muy baja presencia	6
El Cuajilote	0.43	0.13	0.46	0.34	31.12	Baja ausencia	4
San Juan de Dios	0.90	0.63	0.53	0.68	37.76	Baja presencia	7
Contribución de la dimensión	0.61	0.36	0.57	0.51			
Calificación de la dimensión	Baja	Baja deficiencia	Baja		3.70	Muy baja presencia	
% de la contribución	22.22	26.66	15.55				
Prioridad	7	4	6				6

el soporte para impulsar una tercera que se retrasa y, no necesariamente, del desarrollo simétrico de las dimensiones, aunque sí necesariamente de manera simultánea. Finalmente, la dimensión económica y la comunidad de El Cuajilote tienen la mayor prioridad de atención, aunque toda la región está en una situación relativamente crítica de sustentabilidad.

Elementos para una Estrategia que Promueva el Desarrollo Sustentable

La estrategia que puede promover el desarrollo sustentable en los Valles Centrales de Oaxaca debe incluir programas relacionadas con las variables que induzcan una mayor intensidad en el uso del suelo, como la superficie irrigada y fertilizada, la participación de las mujeres en cargos públicos de la comunidad, generación de ingresos por concepto de trabajo femenino y venta de ganado mayor, que fueron las variables de naturaleza ambiental, social y económica más contrastantes o las que más se diferenciaron entre las comunidades. El listado de estas variables seleccionadas con criterios estadístico-cuantitativos, se complementa con la selección cualitativa de variables con promedios similares entre las comunidades y que prácticamente por su ausencia se considera que limitan el desarrollo sustentable. Entre estas variables están: crédito, seguro, asistencia técnica, capacitación y programas de reforestación que están prácticamente ausentes en las comunidades. Las primeras cuatro variables tuvieron un promedio similar y no se detectaron diferencias significativas entre las comunidades; sin embargo, se consideran elementales para cualquier programa de desarrollo regional (Todaro, 1977; Johnston y Kilby,

1980). La propuesta de reforestación se deriva de la ausencia de población arbórea próxima a las comunidades y a relevancia del consumo de leña en las tres comunidades (con promedios similares), y a otros beneficios colaterales que traería un programa de reforestación, como la conservación de suelo y agua.

Elementos Ambientales para Promover el Desarrollo Sustentable

De acuerdo con la selección de las seis variables ambientales, con las que se cuantificó la sustentabilidad en la región, algunos elementos asociados con su tendencia a la sustentabilidad son: el aumento de la eficiencia de la producción de la producción familiar en su superficie de cultivo, con alternativas técnicas de integración agropecuaria con base en módulos agroecológicos, debido a que el aumento de superficie en áreas de temporal por persona es poco factible, dado que la población incrementa, pero la tierra disponible es la misma. El incremento de la superficie de riego para las comunidades tiene dos alternativas complementarias: para los agroecosistemas de El Trapiche y El Cuajilote, que disponen de agua de río de manera temporal o continua, existe la posibilidad ampliar su área de riego con la construcción de una presa adicional, y para San Juan de Dios con la perforación de un pozo profundo. La segunda alternativa para incrementar el área de riego con los niveles de agua disponible en las tres comunidades es a través del mejoramiento de la eficiencia en el uso de riego con alternativas técnicas, como el riego por goteo, lo cual requiere de que se desarrolle una tecnología apropiada a las condiciones de este tipo de productores. Para el caso de la profundidad de suelo, si bien no resulta

muy factible incrementarlo, el hecho de conservar el existente y no perderlo por erosión sería importante para conservar la sustentabilidad. Para ello, es necesario promover alternativas asociadas con la conservación de suelo y agua.

Para disminuir la densidad aparente del suelo, que se asocia a mayor infiltración y mantenimiento de agua, aireación e incremento de la actividad microbiana, la retención de nutrimentos y a mayor desarrollo radical de los cultivos, se requiere fomentar sistemas de labranza de conservación y uso de abonos orgánicos (Brady y Weil, 1999). En tanto que el exceso de la labranza convencional mecánica y un uso excesivo de fertilizantes químicos de manera conjunta, de acuerdo con Tijerina (2001), aumentan la densidad aparente, reducen los poros de suelo y aumentan la posibilidad de encostramiento, el escurrimiento superficial, la erosión y la contaminación del agua, reducen la actividad microbiana del suelo, y hacen depender a los cultivos de adiciones de nutrimentos químicos externos. Por estas y otras razones ambientales y económicas conviene impulsar programas de labranza de conservación, con el uso de tecnología apropiada con tracción animal. Un aumento de la capacidad de intercambio catiónico obligadamente está asociado a mayor cantidad de materia orgánica y ésta a mayor productividad de los suelos (Brady y Weil, 1999). En todo caso, la necesidad de usar fertilizantes químicos, debido a la baja fertilidad del suelo, debe hacerse apropiadamente considerando el pH del suelo y su forma de aplicación. En cualquier caso, depender de insumos externos es un elemento negativo para la sustentabilidad y es preferible que la unidad familiar produzca sus insumos. Por ejemplo, el aumento de la superficie abonada mediante la elaboración de su propio abono orgánico (compost, estercoleros o en combinación con el industrial y con material local como la zeolita).

Una vez operada la estrategia durante un tiempo razonable para observar cambios, debe iniciarse la evaluación del agroecosistema en sus dimensiones social, económica y ambiental, y analizar sus contribuciones en la dirección de la sustentabilidad, procedimiento que debería seguirse de manera interactiva.

CONCLUSIONES

El índice relativo de sustentabilidad indica que la sustentabilidad es baja en la región Valles Centrales, Oaxaca, y que existen diferencias en el grado de sustentabilidad entre los agroecosistemas y en la

contribución de las dimensiones social, económica y ambiental a la sustentabilidad. La contribución de la dimensión ambiental a la sustentabilidad es mayor que la contribución de la dimensión social y que la de la dimensión económica; sin embargo, para promover el desarrollo sustentable se requiere de la contribución de las tres dimensiones. Entre las variables clave de la dimensión ambiental para promover el desarrollo sustentable se identifican a la superficie de cultivo de riego y temporal, la fertilización, y la profundidad media, la densidad aparente y la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Teodoro Castillo Pérez la aportación de su base de datos de análisis físicoquímico de suelos de su investigación doctoral en el Colegio de Postgraduados.

LITERATURA CITADA

- Bowers, J. 1997. Sustainability and environmental economics. An alternative test. Longman Singapore Publishers. Singapore.
- Brady, N. C. and R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. 12th ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Casas C., R., T. Martínez S., F. V. González C., E. García M., B. V. Peña O., F. J. Trujillo A. y T. Castillo P. 2001. Sustentabilidad: avances, limitaciones y perspectivas de su evaluación. pp. 27-51. In: S. Sánchez P., M. Vázquez G., E. López A. y S. Carbajal H. (eds.). Indicadores de sustentabilidad. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Castroviejo, B. M. 2006. Estrategia de desarrollo sostenible de la Unión Europea: una nueva esperanza. *Ambienta* 57: 6-13.
- CIAT-UNEP (Centro Internacional de Agricultura Tropical-Programa Ambiental de las Naciones Unidas). 1998. Indicadores ambientales para América Latina y el Caribe. <http://www.ciat.cgiar.org> y <http://www.unep.org> (Consulta: marzo 6, 1998).
- Constanza, R. and H. E. Daly. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conserv. Biol.* 6: 37-46.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2007. Sustainable development The government's approach - delivering UK sustainable development together. National indicators. <http://www.sustainable-development.gov.uk/progress/national/index.htm> (Consulta: noviembre 17, 2007).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1993. FSLM. An international framework for evaluating sustainable land management. Soil resources report. Land and Water Development Division, FAO. Rome, Italy.

- IISD (International Institute for Sustainable Development). 2007a. The methodology used for the Dashboard software tool. http://esl.jrc.it/dc/db_meths.htm (Consulta: diciembre 10, 2007).
- IISD (International Institute for Sustainable Development). 2007b. Indicadores de los objetivos del desarrollo del milenio. El tablero de instrumentos de los objetivos de desarrollo del milenio (ODM). http://esl.jrc.it/dc/db_es.htm (Consulta: diciembre 10, 2007)
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Indicadores de desarrollo sustentable en México. INEGI. México, D. F.
- Johnston, F. B. y P. Kilby. 1980. Agricultura y transformación estructural. Políticas económicas para los países en desarrollo. Trad. por E. L. Suárez. Ed. Fondo de la Cultura Económica. México, D. F.
- Kates, R. W., W. C. Clark, R. Corell, J. M. Hall, C. C. Jaeger, I. Lowe, J. J. McCarthy, H. J. Schellnhuber, B. Bolin, N. M. Dickson, S. Faucheux, G. C. Gallopín, A. Gruebler, B. Huntley, J. Jäger, N. S. Jodha, R. E. Kasperson, A. Mabogunje, P. Matson, H. Mooney, B. Moore III, T. O'Riordan, and U. Svedin. 2001. Sustainability science. *Policy Forum: Environment and Development. Science* 292: 641-642.
- Kaufmann, R. K. and C. J. Cleveland. 1995. Measuring sustainability: needed – an interdisciplinary approach to an interdisciplinary concept. *Ecol. Econ.* 15: 109-112.
- Manly, F. J. B. 1986. *Multivariate statistical methods: a primer.* Chapman Hall. New York, NY, USA.
- Martínez, A. J. y J. J. Roca. 2000. *Economía ecológica y política ambiental.* Fondo de la Cultura Económica. PNUMA. México, D. F.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Agenda XXI. Conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). México, D. F.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2007. Indicadores de los objetivos del desarrollo del milenio. Portada oficial de la ONU para los indicadores ODM, ONU. División de Estadísticas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Data.aspx> (Consulta: diciembre 10, 2007).
- Parris, T. M. 2003. Toward sustainability transition. *The International Consensus. Environment* 45: 15-22.
- Ruckelshaus, W. D. 1989. Toward a sustainable world. *Sci. Am.* 261: 166-175.
- SAS Institute. 1985. *User's guide. Statistics.* SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Spencer, D. S. and M. J. Swift. 1992. Sustainable agriculture: definition and measurement. pp. 15-24. *In:* K. Mulongoy, M. Gueye, and D. S. C. Spencer (eds.). *Biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture.* John Wiley. Chichester, UK.
- Tijerina C., L. 2001. Evaluación del cambio de algunas propiedades del suelo derivadas del uso agrícola. pp. 83-113. *In:* S. Sánchez P., M. Vázquez G., E. López A. y S. Carvajal H. (eds.). *Indicadores de sustentabilidad.* Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Todaro, M. 1977. *Economics for a developing world.* Longman. London, UK.
- Urquidí, V. L. 2000. México en la globalización. Condiciones y requisitos de un desarrollo sustentable y equitativo. Informe de la Sección Mexicana del Club de Roma. Fondo de la Cultura Económica. México, D. F.
- World Bank. 1997. Are we saving enough for the future? *In:* Expanding the measure of wealth. *Indicators of environmentally sustainable development studies and monograph series 17.* World Bank. Washington, DC, USA.