



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD POSTERIOR A UNA INTERVENCIÓN AGROECOLÓGICA EN EL SUBTRÓPICO DEL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO

[ASSESSING SUSTAINABILITY AFTER AN AGRO-ECOLOGICAL INTERVENTION, IN THE SUBTROPICS OF THE CENTRAL HIGHLANDS OF MEXICO]

Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo^{1*}, Luis Isaac Aguilera Gómez², Carlos Ernesto González Esquivel³, José Isabel Juan Pérez⁴

¹*Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Tel: (01722) 2143182.*

²*Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México. Tel: (01722) 2965554, 2965556.*

³*School of Biological Sciences. University of East Anglia, Norwich United Kingdom. Tel: (01722) 2965552.*

⁴*Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Tel: (01722) 2143182*

E-mail: gaston_g2001@yahoo.com.mx.

**Corresponding Author*

RESUMEN

La sustentabilidad del rancho universitario de Temascaltepec, perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de México se evaluó por medio de indicadores. A partir de la caracterización y diagnóstico se diseñó una propuesta de manejo sustentable de recursos naturales. Para la instalación, operación y evaluación de algunos componentes de dicha propuesta se realizaron experimentos durante tres años. Así se incluyeron la evaluación comparativa de parcelas para producción de forrajes en monocultivo y asociación, lotes de árboles multipropósito y lotes de contención de erosión con técnicas vegetativas. Los rendimientos de forrajes mejoraron gradualmente durante el periodo de evaluación y mostraron mayor calidad para los forrajes asociados. Las diferentes especies arbóreas mostraron grados divergentes de adaptación y desarrollo debido a las condiciones adversas del suelo y clima. Las técnicas vegetativas fueron eficaces para contener los procesos erosivos acelerados. La comparación del estado final del sistema con el estado inicial permitió observar mejoras notables para la mayoría de los indicadores ambientales y sociales, aunque la rentabilidad fue negativa debido al alto costo de la instalación de los componentes. Se comprobó la relevancia de esta metodología, tanto para el diseño y operación de la propuesta, como para la evaluación de sustentabilidad.

Palabras clave: evaluación de sustentabilidad; indicadores de sustentabilidad; agroecología; rancho universitario.

SUMMARY

The sustainability of the university farm Temascaltepec belonging to the 'Universidad Autónoma del Estado de México' was evaluated through indicators. Based on the characterization and diagnosis, a proposal for natural resources sustainable management was designed. In order to install, operate and evaluate some components of this proposal, experiments for three years were realized, these included: the benchmarking in monoculture and association using lots for fodder production, for multipurpose trees, and for containing erosion with vegetative techniques. The forage yields gradually improved during the evaluation period, and forages association showed greater quality. The arboreal species showed divergent degrees of adaptation and development due to adverse ground and climate conditions. The vegetative techniques were effective to decrease the accelerated erosive processes. The comparison of the final state of the system with the initial state allows us to observe notable improvements for most of the environmental and social indicators, although the profitability was negative, due to the high cost of the components installation. The relevance of this methodology, for the design and operation of the proposal and for sustainability evaluation, was verified as much.

Key words: sustainability assessment; sustainability indicators; agroecology; university farm.

INTRODUCCIÓN

La estrategia agroecológica plantea que un agroecosistema debe imitar el funcionamiento de los ecosistemas locales; exhibiendo reciclaje de nutrientes, estructura compleja y biodiversidad creciente (Sánchez, 1995; Ewel, 1999). Diversos estudios agrícolas han mostrado que los sistemas complejos y multiespecíficos son más confiables en su producción y más sustentables en términos de conservación de recursos que los sistemas simplificados (Soule y Piper, 1992; Vandermeer *et al.*, 1998; Jackson, 2002). Los cultivos intercalados que rompen la estructura del monocultivo pueden aportar beneficios en el control de plagas y malezas, así como reducir la erosión eólica e incrementar la infiltración de agua (Altieri y Nicholls, 2000).

La aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados puede crear desbalances y volver a los cultivos susceptibles a enfermedades (Slansky y Rodríguez, 1987). De hecho, hay evidencia creciente de que los cultivos que crecen en suelos ricos en materia orgánica y biológicamente activos, son menos susceptibles al ataque de plagas (Luna *et al.*, 1994; Campbell, 1989; Liebman y Gallandt, 1997).

Por otra parte, la investigación realizada en fincas experimentales generalmente se lleva a cabo con base en diseños de variable controlada. En el caso de México, se han encontrado casos en donde las fincas universitarias no cumplen con sus funciones sustantivas de docencia, investigación y extensión (Ramírez, 2002; Gutiérrez *et al.*, 2007). Sin embargo, hay una tendencia creciente a la conversión de fincas experimentales como modelos de experimentación agroecológica, en los que se aplican los principios de la agricultura sustentable (Luna *et al.*, 1994; Dobbs y Smolik, 1996). En estos estudios de largo plazo ha sido posible observar los procesos que ocurren durante la transición de prácticas convencionales a sistemas alternativos de manejo de los recursos.

En este estudio se analiza el impacto de algunas prácticas de manejo en la sustentabilidad de una finca universitaria. Como primer paso, se llevó a cabo la caracterización, diagnóstico y propuesta de manejo, los cuales se presentaron en la primera fase del estudio (Gutiérrez *et al.*, 2007). El aporte de dichas prácticas a la sustentabilidad general del sistema se evaluó por medio de indicadores (Masera *et al.*, 1999). De acuerdo con estos autores, un sistema es considerado sustentable cuando produce, en un estado de equilibrio dinámico, una combinación específica de bienes y servicios que satisfacen un conjunto de metas (productividad), sin degradar sus recursos base (estabilidad); es capaz de enfrentar (confiabilidad) y recuperarse rápidamente de perturbaciones (resiliencia); y encontrar estados alternativos de

equilibrio (adaptabilidad); basándose en la organización de los involucrados (autogestivo); reduciendo la dependencia del exterior (autodependencia) y con una adecuada distribución de responsabilidades y beneficios entre sus integrantes (equidad).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Rancho Universitario del Centro Universitario Temascaltepec (RUCUT), ubicado en el municipio de San Simón de Guerrero, con coordenadas extremas 19° 01'05.3'' y 19°01'36.0'' N y 100° 02' 23.6'' y 100°02' 47.7'' W, a una altitud media de 1,880 msnm, con clima templado subhúmedo en transición a un clima subtropical, temperatura media de 17° C y precipitación pluvial anual de 1,300 mm.

A partir de la caracterización, diagnóstico e identificación de los puntos críticos del sistema y subsistemas, surgió una propuesta de manejo sustentable de recursos naturales, que incluía técnicas de manejo agroecológico para diversos componentes del sistema (Gutiérrez *et al.*, 2011). Se decidió trabajar de manera inicial con los componentes suelo, cultivos forrajeros y agroforestería, mediante: 1) Instalación de parcelas de forrajes con fertilizante químico en monocultivo en comparación con forrajes en asociación con abonado orgánico; 2) Instalación de lotes de árboles multipropósito; 3) Contención de cárcavas con técnicas vegetativas. Las técnicas se establecieron y evaluaron por un periodo de tres años y se detallan a continuación:

Parcelas de forrajes en monocultivo y asociación

Rye grass (*Lolium multiflorum*) y avena (*Avena sativa*) se sembraron en monocultivo, con una dosis de fertilizante de 80 kg N ha⁻¹, 40 kg P ha⁻¹ y 35 kg K ha⁻¹, y asociados [rye grass+trébol rojo (*Trifolium pratense*) y avena+veza (*Vicia sativa*)] con aplicación de composta elaborada en la finca a una dosis de 2,800 kg ha⁻¹ (14 kg N ha⁻¹). En ambos casos se sustituyeron las prácticas previas de cultivo por labranza de conservación, surcado al contorno y zanjas de retención de humedad. Un diseño en parcelas divididas con dos repeticiones fue usado. El rendimiento de forraje (t MS ha⁻¹) fue registrado. El análisis químico de los forrajes se llevó a cabo mediante técnicas convencionales para proteína cruda (PC, g kg MS⁻¹), fibra cruda (CF, g kg MS⁻¹) y se calculó la energía metabolizable (EM, MJ kg MS ha⁻¹) mediante la fórmula propuesta por Shimada (1987). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza. Los suelos se muestrearon y analizaron para la evaluación de sus propiedades físico-químicas [pH, materia orgánica (MO, %) y nitrógeno (N, %)], antes y después del periodo de estudio.

Lotes de árboles multipropósito con abonado orgánico

Los componentes de los lotes fueron: a) Barrera rompevientos de *Cupressus lindleyi*, b) Cerco vivo de *Acacia guatemalensis*, c) Banco de proteína de *Leucaena glauca*, y d) Barreras de sombra y retención de suelos con *Delonix regia*, *Jacaranda mimosifolia*, *Citrus aurantifolium*, *Spathodea campanulata* y *Sabal mexicana*. Previo al establecimiento de los árboles, las terrazas y zanjas de retención de humedad se construyeron siguiendo curvas de nivel; y se adicionó estiércol compostado en la finca a razón de 3,600 kg ha⁻¹ (18 kg N ha⁻¹). Un lote se estableció al inicio de la evaluación y tres lotes doce meses después. El 30% de los árboles de cada especie se muestreó. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, diámetro del tallo, número y diámetro de ramas, frente de protección y grosor del seto.

Control vegetativo de erosión en cárcavas

Seis procesos erosivos acelerados en la finca fueron detectados. En los sitios asociados a ellos se establecieron dos tipos de vegetación: a) Bambú (*Gaudua angustifolia* y *Gaudua amplexifolia*) y b) Pastos (*Cynodon plestostachyus* y *Lolium perenne*). Previo al establecimiento de vegetación se aplicó composta elaborada en la finca, a razón de 3,600 kg ha⁻¹ (18 kg N ha⁻¹). Las variables evaluadas al inicio y al final del periodo de estudio fueron: profundidad, anchura, superficie total de la cárcava y volumen de suelo removido. Para la vegetación establecida se evaluó altura de la planta, número de brotes por planta y, en el caso de los pastos, porcentaje de cobertura del suelo. Durante los dos años siguientes a la plantación en lotes se aplicó la composta como abono orgánico a razón de 1,200 kg ha⁻¹ (6 kg N ha⁻¹).

Evaluación de la sustentabilidad

La evaluación se realizó de manera longitudinal, es decir, comparando el sistema en sus estados inicial y final, de acuerdo a la metodología propuesta por Maserá *et al.* (1999). Los atributos analizados fueron *productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, autogestión, autodependencia y equidad*; los indicadores seleccionados se observan el cuadro 6. El monitoreo incluyó aspectos ambientales, técnicos y socioeconómicos. Para cada indicador se definieron valores óptimos propuestos por el equipo evaluador, de acuerdo con la literatura existente o consultas con expertos. Posteriormente, se indizó cada valor calculando la relación existente entre el valor obtenido y el valor óptimo [Para VO= V. Máximo; Índice = (VI / VO) x 100; para VO = V. mínimo; Índice = (VO / VI) x 100.]. Los valores indizados se presentaron en una gráfica radial (también llamada gráfica de AMIBA o mapa de evaluación de

sustentabilidad) y se obtuvo el índice total del sistema para cada estado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parcelas de forrajes en monocultivo y en asociación

En ambos tratamientos, el desarrollo fisiológico fue precoz, con maduración a los 69 días para cultivos cuyo ciclo vegetativo suele ser de alrededor de 90 días, lo que puede atribuirse a las altas temperaturas y precipitación de la temporada de cultivo. El rendimiento de *L. multiflorum* en monocultivo fue mayor que el del asociado con *T. pratense*, el cual presentó un desarrollo lento y deficiente. No fue posible observar nodulación de las plantas. Esto puede atribuirse a la escasa materia orgánica en suelo y a la carencia de bacterias fijadoras específicas para *T. pratense*. Sin embargo, el contenido proteico del forraje asociado fue mayor para el cultivo asociado, tal vez por la presencia de la leguminosa. El contenido de fibra cruda fue alto en ambos casos, debido al proceso temprano de lignificación del forraje, siendo mayor para el monocultivo.

Para el caso de *A. sativa*, los rendimientos tanto en monocultivo como en asociación con *V. sativa* resultaron superiores a lo reportado (3.15 t MS ha⁻¹ por Muslera y Ratera (1991), y (3.0 a 3.75 t MS ha⁻¹) por Robles (1986) de 3.0 a 3.75 t MS ha⁻¹. Con relación a los costos de producción de cada tratamiento, es importante señalar que los cultivos asociados en ambos casos presentaron mayores costos de producción, debido al elevado precio de la semilla de leguminosa (Cuadro 1).

La evolución del rendimiento para ambos tratamientos durante el periodo de estudio se presenta en la Figura 1. Es posible observar que todos los tratamientos muestran valores crecientes, y fueron superiores en el tercer año, en 37% y 46% para el monocultivo y la asociación, respectivamente.

En un estudio paralelo (Avilés, 2006), se evaluaron los pastizales nativos del Rancho Universitario del Centro Universitario Temascaltepec (RUCUT). Dos tipos de pastizal se identificaron: uno dominado por *Paspalum notatum* y otro por *Axonopus compressus*. Ambos se manejaron con pastoreo de ovinos durante dos años. El rendimiento promedio obtenido fue de 3.79 t MS ha⁻¹ para *P. notatum* y 3.19 t MS ha⁻¹ para *A. compressus*, con un contenido de 11.5 y 84.3 g de PC kg MS⁻¹, y 7.3 y 7.0 MJ EM kg MS⁻¹ respectivamente, lo cual indica un mayor rendimiento y calidad de los forrajes cultivados en todos los casos, excepto para el rendimiento de *L. multiflorum* en asociación.

Cuadro 1. Atributos de los forrajes en monocultivo y asociación durante tres años

	Rendimiento (t MS ha ⁻¹)	PC (g kg MS ⁻¹)	FC (g kg MS ⁻¹)	EM (MJ kg MS ⁻¹)	Costo (\$ ha ⁻¹)
Rye grass	3.92 ^a	175.6 ^a	244.8 ^a	9.31	3,040
Rye grass + trébol rojo	2.48 ^b	196.7 ^a	211.0 ^b	9.31	4,300
Avena	4.25 ^a	137.0 ^c	275.5 ^a	9.69	2,990
Avena + veza	4.62 ^a	154.6 ^b	293.7 ^a	9.40	4,080

MS: materia seca, PC: proteína cruda, FC: fibra cruda, EM: energía metabolizable.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), mediante prueba de Tukey. 1 peso = 0.95 USD en promedio durante el periodo de estudio (Nava y Reyes, 2004).

Lotes de árboles multipropósito con abonado orgánico

El monitoreo del desarrollo mostró marcadas diferencias entre especies; mientras *C. lindleyi*, *Spathodea campanulata* y *A. guatemalensis* presentaron un desarrollo aceptable: *L. glauca* y *D. regia* tuvieron gran dificultad para adaptarse a las condiciones locales, debido probablemente, a la acidez del suelo, la temporalidad marcada de la estación seca y el clima templado (Sánchez, 2004; Jaimes, 2005) (Cuadro 2). Toral y Hernández (1997) aseguran que los árboles de leucaena manifiestan serias dificultades para establecerse, respecto a condiciones de clima y suelo, factores de carácter fitotécnico y características particulares de la variedad.

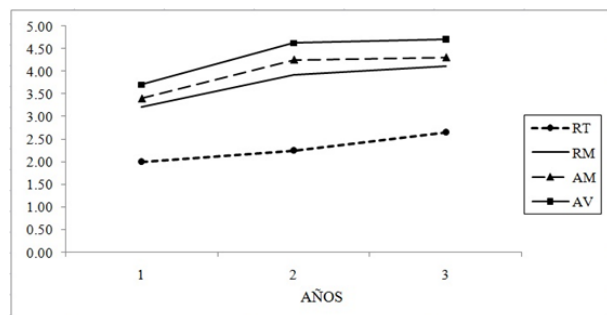


Figura 1. Evolución del rendimiento de forrajes en monocultivo y asociación : RM – Rye grass en monocultivo. RT – Rye grass + trébol rojo. AM – Avena en monocultivo. AV – Avena + veza.

El periodo estudiado en este trabajo es apenas el tiempo necesario para la instalación de las especies y su adaptación inicial. Para identificar la calidad del forraje producido, así como la evolución de las interacciones entre los componentes del sistema se requieren periodos de tiempo mayores (Etienne y Bergue, 2004).

Al respecto, numerosos estudios han resaltado los múltiples beneficios del uso de árboles en los agroecosistemas. En particular, existen estudios relativos al uso de árboles leguminosos, los cuales además de aportar forraje de calidad, mejoran la estructura del suelo circundante. Algunas especies son capaces de alcanzar agua y nutrientes no disponibles para hierbas y pastos, lo que tiene profundo efecto en la distribución de recursos y procesos bioquímicos del suelo (Toral y Machado, 2002; Buurman *et al.*, 2004; Shelton, 2004; Alonso *et al.*, 2004). Reyes *et al.* (2002) encontraron que los árboles nativos en el altiplano central de México como *Prosopis* spp y *Acacia tortuoso*, crean islas de fertilidad con un buen contenido de carbono y nitrógeno de biomasa microbiana edáfica (actinomicetos y hongos) y valiosos nutrientes.

Si bien muchas de estas ventajas no pudieron ser evaluadas en este estudio, la adaptación positiva de algunas de las especies permite sugerir que los beneficios del establecimiento de árboles multipropósito se verá en el mediano plazo. Se requiere, en estudios posteriores, evaluar la contribución de estas especies en términos de servicios ambientales, como lo sugieren Amézquita *et al.* (2004), Pomareda (2004) y Gobbi e Ibrahim (2004).

La evaluación de los suelos en las áreas de cultivos forrajeros y árboles multipropósito se presenta en el Cuadro 3. Es posible observar, en todos los casos, un incremento en los valores de pH, materia orgánica y nitrógeno. Los incrementos fueron aparentemente mayores para el rye grass en monocultivo, dado que los valores originales de MO y N fueron menores al inicio del estudio. Los incrementos en pH, MO y N son mayores para los cultivos en asociación, lo cual puede atribuirse no sólo a la presencia de leguminosas, sino también a la aplicación constante de abonos orgánicos. Otro factor que pudo haber influido en la mejora de la calidad de los suelos fue el empleo de técnicas agroecológicas de cultivo, como el surcado al contorno, la construcción de terrazas y la labranza de conservación.

Cuadro 2. Desarrollo de especies arbóreas en lotes de árboles multipropósito con abonado orgánico

	Altura de la planta (cm)		Diámetro del tallo (cm)		Número de ramas (No)		Diámetro de ramas (cm)		Frente de protección (cm)		Grosor del seto (cm)	
	1	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1	30
Edad (meses)	1	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1	30
<i>Acacia guatemalensis</i>	34.1	220	0.41	3.9	1.72	38.4	0.18	0.9	-	-	-	-
<i>Leucaena glauca</i>	51.5	160	0.52	4.2	2.37	36.2	0.14	1.1	-	-	-	-
<i>Delonix regia</i>	20.2	92.5	0.99	2.7	1.30	28.8	0.16	1.2	-	-	-	-
<i>Cupressus lindleyi</i>	64.2	255.4	0.59	5.3	-	-	-	-	15.9	139.7	15.7	128.4
Edad (meses)	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	16.7	60.1	0.43	2.20	6.30	27.30	0.07	1.10	13.40	47.30	12.60	49.50
<i>Spathodea campanulata</i>	36.4	127	1.40	6.70	9.30	29.30	0.33	1.30	27.30	75.80	24.40	63.30
<i>Sabal mexicana</i>	24.2	89.3	2.23	7.90	5.20	8.90	0.84	2.80	33.10	120	26.20	109
<i>Delonix regia</i>	35.2	40.3	0.83	1.40	5.30	5.20	0.14	0.30	27.0	42.40	19.0	38.20
<i>Citrus aurantifolium</i>	27.3	33.4	0.64	0.90	4.70	5.60	0.26	0.30	9.70	17.40	9.0	14.60

Cuadro 3. Calidad de los suelos al inicio y final del estudio

	pH		MO (%)		N (%)	
	2001	2006	2001	2006	2001	2006
Rye grass	5.47	6.43	0.94	3.20	0.04	0.24
Rye grass + trébol rojo	5.47	6.78	0.94	3.32	0.04	0.22
Avena	5.22	6.60	1.83	3.53	0.09	0.17
Avena + veza	5.22	6.35	1.83	3.83	0.09	0.21
Islas multipropósito	4.88	6.70	2.43	4.30	0.12	0.19

Lotes de contención de erosión con técnicas vegetativas y abonado orgánico

Los seis procesos erosivos acelerados en los que fueron instalados los lotes mostraban profundidades de 0.7 a 7.0 m y anchos de 6.1 a 45.0 m; porcentajes de cobertura vegetal y forestal de 20 a 60% y de 0 a 20%, respectivamente, con una superficie total de 3,800m² y volumen de suelo removido de 14,539 m³ (Valencia, 2005). Durante la evaluación no se observaron cambios en las dimensiones de los procesos, por lo que se estima que las técnicas vegetativas contribuyeron a inmovilizar dichos procesos.

Los lotes pasaron un periodo de adaptación de poco desarrollo durante la estación seca. A partir del inicio de la estación lluviosa, tanto la altura de las plantas como el número de brotes de *G. angustifolia* y *G. amplexifolia* mostraron un desarrollo creciente, al igual que la cobertura del suelo por los pastos perennes (Cuadro 4), lo que permite asegurar su capacidad de contención y retención de suelos (Jaimes, 2005)

Ambas especies de bambú mostraron buena adaptación y desarrollo; sin embargo, de los pastos usados para retención del suelo sólo *Cynodon plestostachyum* se estableció adecuadamente.

Evaluación de la sustentabilidad

El comportamiento de la rentabilidad del sistema evaluado durante los años 2002, 2003 y 2004 muestra un comportamiento decreciente acentuado en 2003, debido a los gastos adicionales derivados de la instalación de la propuesta de Manejo Sustentable de Recursos Naturales (MSRN) (Cuadro 5). Dichos gastos incluyeron la compra de árboles y semilla de forrajes, la construcción de terrazas, la elaboración y aplicación de composta y la instalación de los lotes de contención de erosión. Cabe destacar que el proceso requirió una alta cantidad de mano de obra, lo que elevó los costos, mientras que los ingresos derivados de la venta de animales se mantuvieron en niveles similares a los del inicio del estudio (Anaya, 2004).

Cuadro 4. Lotes de contención de erosión con técnicas vegetativas a los tres y dieciocho meses después de la plantación (julio 2003 - diciembre 2004).

Edad (meses)	Altura de la planta (m)		Número de brotes por planta		Cobertura del suelo (%)	
	3	18	3	18	3	18
<i>Gaussia angustifolia</i>	1.43	4.20	0	4.10	-	-
<i>Gaussia amplexifolia</i>	1.34	3.80	0	4.30	-	-
<i>Cynodon dactylon</i>	-	-	-	-	3.2	19.6
<i>Lolium perenne</i>	-	-	-	-	6.2	1.6

Al ser indizados de acuerdo al procedimiento señalado en la metodología los ISs y el sistema total; el valor de sustentabilidad para el estado final (48.8) fue superior al estado inicial (21.9). Es posible observar que en el estado final mejoraron cuatro indicadores ambientales y dos se mantuvieron constantes. Sin embargo, los indicadores económicos de rendimiento en forraje y utilidad neta muestran valores superiores en el estado inicial; la calidad de la producción mejora en el estado final; el rendimiento pecuario, los insumos y los ingresos por venta de animales permanecen constantes; los indicadores sociales son marcadamente superiores en el estado final.

Cuadro 5. Rentabilidad del sistema Rancho Universitario del Centro Universitario Temascaltepec (RUCUT) durante los años 2002, 2003 y 2004.

	2002	2003	2004
Utilidad neta (\$)	-127,258	-212,980	-203,992
Relación beneficio-coste (RBC)	0.53	0.50	0.52

1 peso = 0.095 USD promedio al momento del estudio

RBC: menor de uno, implica pérdida

Los valores del Estado Inicial (EI) y del Estado Final (EF), así como los valores óptimos y los índices para cada indicador de sustentabilidad evaluado se muestran en el Cuadro 6.

Los valores de los indicadores ambientales mejoraron después de la aplicación durante tres años de la propuesta de MSRN, consistente en diversas técnicas agroecológicas, de restauración y mejoramiento de suelo, agua y vegetación. Los indicadores sociales, asimismo, muestran valores superiores debido a que durante la operación de la propuesta las actividades de docencia, investigación y extensión se dinamizaron en el RUCUT; si bien aumentó la dependencia de recursos externos.

En la Figura 2 se integran los valores del Estado Inicial (EI) y del Estado Final (EF) de los indicadores evaluados. En términos de productividad, si bien la utilidad neta disminuyó notablemente, ésta situación puede esperarse en un periodo de transición, tal como

lo describen Altieri y Nicholls (2000). Sin embargo, un aumento gradual en el rendimiento y una mejora en la calidad de los forrajes fueron observados, lo cual puede traducirse en mejoras productivas a mediano plazo. Adicionalmente, se espera que en un corto plazo se pueda aprovechar el forraje de algunas de las especies arbóreas.

En términos de *estabilidad, resiliencia y confiabilidad*, el área agrícola y de pastizal con técnicas agroecológicas aumentó sensiblemente; si bien el área de pastizal con procesos erosivos no se redujo, tampoco aumentó. Lo mismo sucedió con los procesos erosivos acelerados, lo que mostró la eficacia de las técnicas de control de erosión y ello permite atender los procesos leves y moderados. Un aspecto a destacar es la mejora sustancial en la calidad de los suelos en los que se cultivan forrajes y en las islas multipropósito.

En cuanto a la *adaptabilidad*, el número de especies cultivadas aumentó notablemente e incluyó cultivos asociados, cultivos de cobertura, árboles multipropósito (cerros vivos, barreras, rompevientos, árboles forrajeros, de sombra, de ornato y frutales), así como especies destinadas a contener y restaurar suelos. Su establecimiento implicó un gran esfuerzo y sugiere, a mediano plazo, una mayor adaptabilidad de un sistema que por ubicarse en una transición climática altitudinal-latitudinal y reúne especies y características de los climas templados subhúmedos y semicálidos semisecos en la región.

La *autogestión* de la Comunidad Agronómica Universitaria expresada en productos concretos como cursos, tesis de licenciatura y postgrado y proyectos de investigación en el RUCUT, sin duda, se vio reforzada durante el periodo, y con ella, su potenciación para la toma de decisiones encaminadas a la sustentabilidad del sistema.

La *autodependencia* del sistema es un punto polémico, ya que el uso de insumos externos (fertilizantes y pesticidas) disminuyó con el cultivo orgánico de forrajes y árboles multipropósito; el establecimiento de la propuesta de MSRN dio un balance de recursos

externos aumentado por los costos anteriormente descritos. Entonces, se espera que en los plazos mediano y largo, éste indicador mejore, lo cual contribuirá a optimizar el atributo de autodependencia.

La *equidad*, dentro del grupo social, es considerada como un requisito básico para su sostenimiento y permanencia. La existencia de organismos

institucionales (comisiones, comités, cuerpos académicos y equipos de investigación) dedicando su labor al RUCUT, sin duda, aumenta actualmente la distribución del poder de toma de decisiones y la equidad en el diseño y manejo del RUCUT.

Cuadro 6. Indicadores e índices de sustentabilidad del RUCUT en los Estados Inicial y Final.

Indicador de Sustentabilidad	Valores por indicador			Índices por indicador	
	Estado Inicial	Estado Final	Valor Óptimo	Estado Inicial (%)	Estado Final (%)
Área agrícola y de pastizal con técnicas agroecológicas	1	41	100	1	41
Materia orgánica en suelos	1.6	3.6	3.5	46	100
Área de pastizal con procesos erosivos leves y moderados	38.8	38.8	1	2.6	2.6
Área de pastizal con procesos erosivos acelerados	19	19	1	5.3	5.3
Dependencia de pastizal nativo	55.5	2.5	1	1.8	40
Número de especies manejadas	5	25	30	16.6	83.3
Rendimiento en forraje	2.7	4.1	6	45	68.3
Rendimiento pecuario	132	132	119	100	100
Utilidad neta	-127250	-203992	100000	0	0
Fertilizante aplicado	450	337.5	1	0.2	0.3
Pesticidas aplicados	5	2.5	1	20	40
Recursos externos	40.6	61.0	10	24.6	16.3
Actividades institucionales en el RUUAPT (cursos, tesis, proyectos)	7	26	30	23.3	86.6
Organismos institucionales dedicados al RUUAPT (comisiones, comités, cuerpos académicos, equipos de investigación)	1	7	5	20	100
Índice Total del sistema				21.9	48.8

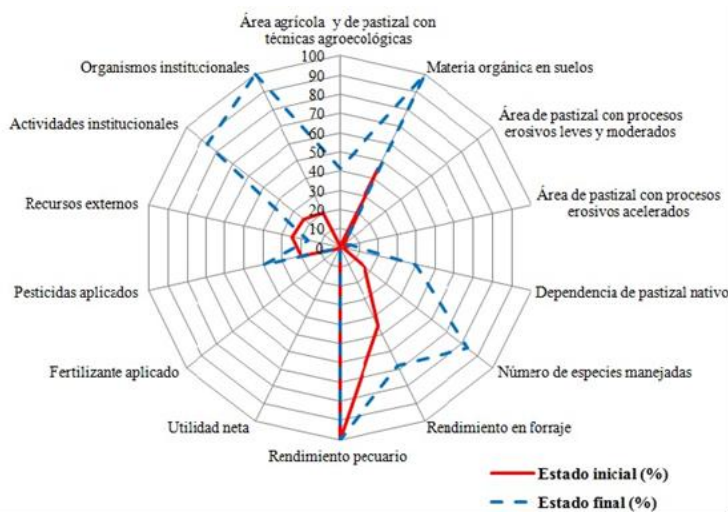


Figura 2. Mapa de evaluación de sustentabilidad del estado inicial y final del Rancho Universitario del Centro Universitario Temascaltepec (RUCUT).

CONCLUSIONES

La investigación se considera un trabajo de experimentación diseñado con el enfoque de la investigación agroecológica y semejante a aquellos usados para la experimentación campesina; esto significa que la experimentación se realiza en condiciones no controladas, por lo que las parcelas experimentales están sometidas tanto a variaciones climáticas, hídricas, edáficas, así como tecnológicas (Altieri y Nicholls, 2000). Los resultados de la experimentación agroecológica, influenciada por las particularidades de los sitios, no pueden ser trasladados íntegramente a otras localidades o condiciones; sin embargo, se consideran válidos además de útiles y aplicables en las condiciones locales. En contraste, los métodos empleados pueden ser adaptados a condiciones diversas.

El estado inicial del sistema se caracterizaba por la ausencia de técnicas agroecológicas, desarticulado en sus flujos y procesos bajo un enfoque sistémico, y con un bajo nivel de sustentabilidad. La instalación de las propuestas de manejo de recursos permitió observar y registrar cambios en el estado final. La viabilidad técnica y económica de los cultivos forrajeros, los árboles multipropósito y el control de erosión mediante técnicas vegetativas ha sido demostrada.

El uso del Marco MESMIS permitió identificar los principales problemas del RUCUT y diseñar propuestas de manejo agroecológico, así como evaluar la sustentabilidad del sistema desde sus diferentes ámbitos. La evaluación mostró que mejoraron los indicadores ambientales y sociales, mientras que los económicos disminuyeron, con expectativas a mejorar en el mediano plazo. El análisis mediante indicadores permite evaluar aspectos detallados sobre los procesos de un agro ecosistema; en complemento, la evaluación mediante atributos ofrece información sobre procesos generales del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al equipo evaluador su participación comprometida en cada una de las etapas del trabajo, así como al personal y autoridades del RUCUT. Agradecemos al Dr. Carlos Arriaga Jordán, y a dos árbitros anónimos, sus comentarios para enriquecer este trabajo. El estudio se realizó con apoyo del proyecto UAEM 1827/2004.

REFERENCIAS

Alonso, J., Torres, O., Ruiz, T. E., Febles, G., Cárdenas, G., Achan, G. 2004. Estudio de la avifauna asociada con sistemas agrosilvopastoriles de leucaena con pasto guinea de diferentes edades en Cuba.

Segundo Simposio Internacional en Sistemas Silvopastoriles, Mérida, México. pp. 109-112.

Altieri, M. A., Nicholls, C. I. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una Agricultura Sustentable. PNUMA, México. 250 p.

Amézquita, M. C., Ibrahim M., Buurman, P. 2004. Carbon Sequestration in Pasture, Agropastoral and Silvopastoral Systems in the American Tropical Forest Ecosystem. The importance of Silvopastoral Systems in Rural Livelihoods to Provide Ecosystem Services, 2nd. International Symposium Silvopastoral Systems, Mérida, Yucatán, México. pp. 303-306.

Anaya, O. J. P. 2004. Evaluación de la productividad, rentabilidad y autogestión del Rancho Universitario del Centro Universitario Temascaltepec, Tesis de Licenciatura IAZ, UAPT, UAEM, México.

Avilés, N. F. 2006. Sistemas de pastoreo intensivo en pastizales nativos de *Paspalum Notatum* Flugge y *Axonopus Compressus* (Swartz) Beauv. con ovinos en el Sur del Estado de México. Tesis Doctoral, Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Buurman, P., Ibrahim, M., Amézquita, M. C. 2004. Mitigación de emisiones de gases invernadero por sistemas agrosilvopastoriles tropicales: Ventajas y hechos. Segundo Simposio Internacional en Sistemas Silvopastoriles, Mérida, México. pp. 61-72.

Campbell, R. 1989. Biological control of microbial plant pathogens. Cambridge University Press, Cambridge. 218 p.

Dobbs, T. L., Smolik, J. D. 1996. Productivity and Profitability of Conventional and Alternative Farming Systems: A Long-Term On-Farm Paired Comparison. *Journal of Sustainable Agriculture*. 9:63-79.

Etienne, M., Bergue, J. E. 2004. Interacciones en sistemas agrosilvopastoriles. Segundo Simposio Internacional en Sistemas Silvopastoriles, Mérida, México. pp. 143-157.

Ewel, J. J. 1999. Natural systems as a model for the design of sustainable systems of land use. *Agroforestry Systems*. 45:1-21.

- Gobbi, J. A., Ibrahim, M. 2004. Creating win-win situations: The Strategy of Paying for Environmental Services to Promote Adoption of Silvopastoral Systems. The Importance of Silvopastoral Systems in Rural Livelihoods to Provide Ecosystem Services, 2nd. International Symposium Silvopastoral Systems, Mérida, Yucatán, México. pp. 98-101.
- Gutiérrez, C. J. G., Aguilera, G. L. I., González, E. C. E., Juan, P. J. I. 2011. Evaluación preliminar de la sustentabilidad de una propuesta agroecológica, en el subtrópico del altiplano central de México. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 567-580.
- Jackson, W. 2002. Natural systems agriculture: A truly radical alternative. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 88:111-117.
- Jaimes, R. I. 2005. Adaptación y desarrollo de árboles multipropósito y lotes vegetativos para la recuperación de suelos en el Rancho Universitario de la Unidad. Académica Profesional Temascaltepec de la UAEM. Tesis de Licenciatura, Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Liebman, M., Gallandt, E. R. 1997. Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions. En: Jackson, L. E. (Ed.). *Ecology in Agriculture*. Academic Press, San Diego, USA. pp. 291-343.
- Luna, J., Allen, V., Fontenot, J., Daniels, L., Vaughan, D., Hagood, S., Taylor, D., Laub, C. 1994. Whole farm systems research: An integrated crop and livestock systems comparison study. *American Journal of Alternative Agriculture*. 9(1): 57-75.
- Masera, O., Astier, M., López-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. MundiPrensa-GIRA-UNAM, México. 99 p.
- Muslera, P. E., Ratera, G. C. 1991. Praderas y forrajes: producción y aprovechamiento. Segunda edición, Ed. Mundi-Prensa, España. 670 p.
- Nava, R. F., Reyes, F. A. 2004. Producción de forrajes en unidades alternativas con manejo agroecológico, en comparación con unidades de referencia con manejo convencional. Tesis de Licenciatura, Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Pomareda, C. 2004. Policy Issues to Develop Markets for Environmental Services. The Importance of Silvopastoral Systems in Rural Livelihoods to Provide Ecosystem Services, 2nd. International Symposium Silvopastoral Systems, Mérida, Yucatán, México. pp. 3-9.
- Ramírez, G. R. E. 2002. Modelo de representación para la unidad de producción La Posta de la FMVZ-UMSNH. Tesis de maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Reyes, R. G., Baron, O. L., Cualí, A. I., Frías, H. J. F., Olalde, P. V., Varela, F. L., Dendooven, L. 2002. Dinámicas de C y N en suelo del Altiplano Central de México, afectada por mesquite (*Prosopis* spp) y huizache (*Acacia tortuosa*): una investigación de laboratorio. *Applied Soil Ecology*. 19:27-42.
- Robles, S. R. 1986. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa, México.
- Sánchez, P. A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. 30:5-55.
- Sánchez, M. J. 2004. Restauración y recuperación de la fertilidad de los suelos agropecuarios del rancho universitario de la UATP, con base en su zonificación y clasificación. Tesis de Licenciatura, Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Shelton, H. M. 2004. Importancia de los recursos arbóreos para el pastoreo en estación seca y su impacto en la productividad de fincas ganaderas. Segundo Simposio Internacional en Sistemas Silvopastoriles, Mérida, México. pp. 158-174.
- Shimada, A. S. 1987. Fundamentos de nutrición animal comparativa. Ed. Offset Universal.
- Slansky, F., Rodriguez, J. G. 1987. Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates. En: Slansky, F., J. G. Rodriguez (Eds). *Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders, and Related Invertebrates*. Wiley, New York. pp. 1-69.
- Soule, J. D., Piper, J. K. 1992. Farming in nature's image. Island Press, Washington, D. C.
- Toral, O., Hernández, J. J. 1997. Caracterización de dos especies del género *leucaena*. 1. Establecimiento. *Pastos y Forrajes*. 20:111.

Toral, O., Machado, R. 2002. Introducción, evaluación y selección de recursos fotogenéticos arbóreos. *Pastos y Forrajes*. 25:1-13.

Valencia, P. F. 2005. Estudio de erosión y pendientes en el Rancho Universitario del Centro Universitario Temascaltepec. Tesis de Licenciatura, Licenciado en Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Vandermeer, J., Van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C., Perfecto, I. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 67:1-22

Submitted March 07, 2011 – Accepted April 16, 2011

Revised received September 29, 2011