

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD A NIVEL DE ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS

N. Valdés, D. Pérez✉ y M. Márquez

ABSTRACT. This research work deals with some evaluative aspects of the stability index in agricultural ecosystems, with the aim of validating its application according to the climatic change, food and nutritional security, besides proving the general ecosystem contribution. The proposal includes and evaluates physical properties, elements of agricultural and forest diversity, as well as energy performance. The proposed indexes were calculated after recording some measurements in 10 small producers' farms from Pinar del Río. Results show the built up index constitutes a useful tool for providing agricultural ecosystems to mitigate greenhouse gases, food and nutritional security; also, these ecosystems are very far from achieving significant contributions to the proposed objectives.

Key words: ecosystems, stability, food security, climatic change

RESUMEN. Este trabajo aborda aspectos de la evaluación del índice de estabilidad en ecosistemas agrícolas, con el objetivo de validar su empleo, en función del cambio climático, la seguridad alimentaria y nutricional, y comprobar la contribución general de los ecosistemas. Dentro de la propuesta se han incluido y evaluado las propiedades físicas, los elementos de diversidad agrícola y forestal, así como el comportamiento energético. Los índices propuestos se calcularon a partir de mediciones realizadas en 10 fincas de pequeños productores en Pinar del Río. Los resultados muestran que el índice desarrollado constituye una buena herramienta para validar la contribución de los ecosistemas agrícolas a la mitigación de los gases de efecto invernadero, seguridad alimentaria y nutricional; además, dichos ecosistemas distan mucho de lograr aportes importantes a los objetivos propuestos.

Palabras clave: ecosistema, estabilidad, seguridad alimentaria, cambio climático

INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XX, los debates sobre la degradación ambiental, los cambios climáticos y el equilibrio ecológico incluyen tópicos como la pobreza, la equidad y el desarrollo sostenible, rebasan los predios puramente científicos y se extienden a foros internacionales de carácter político (1).

La última definición de la seguridad alimentaria y nutricional (SAN), adoptada en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación en 1996 (2), plantea que esta situación se da cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos, para satisfacer sus necesidades y preferencias alimentarias, con el fin de llevar una vida sana y activa. De esta definición se desprende que el concepto de SAN es multidimensional, pues implica que existe una disponibilidad de alimentos básicos, estabilidad y acceso, así como agrega la noción de la utilización biológica de los alimentos, lo que le da un carácter integral y supone que debe existir un adecuado estado de salud, para que se considere que hay una nutrición óptima (3).

SAN representa el acceso de todas las personas en todo momento a los alimentos necesarios para llevar una vida activa y sana (4). En los hogares, este concepto significa la capacidad de las familias para obtener, ya sea produciendo o comprando, los alimentos suficientes que cubran las necesidades dietéticas de sus miembros, lo cual solo se consigue cuando se dispone de suministros de alimentos y materiales económicamente al alcance de todos (5, 6).

Por una parte, el cambio climático está teniendo efectos muy significativos en la base alimentaria y salud humana, con todas las graves consecuencias que se puedan derivar de esta situación y, por otro lado, la base para la seguridad alimentaria y nutricional descansa sobre los ecosistemas agrícolas o productivos, cada vez más agotados y con menos disponibilidad de recursos de todo tipo, para asegurar los procesos verdaderamente sostenibles.

Otra dimensión importante del problema es que precisamente los procesos agrícolas mundiales se han convertido, ante la necesidad de alimentos y otros servicios, en una de las actividades más contaminantes de las realizadas por el ser humano, por lo que valdría la pena cuestionarnos si estamos frente a problemas diametralmente opuestos o en un círculo vicioso, del que tendríamos que salir apostando todo el conocimiento y la ciencia humana para lograrlo.

Dr.C. N. Valdés, Ms.C. D. Pérez y M. Márquez, Profesores Instructores de la facultad de Agronomía de Montaña San Andrés, Universidad de Pinar del Río. Cuba

✉ dperez@af.upr.edu.cu

Para la realización de este trabajo, se han tomado como referencia los datos aportados a 10 fincas de productores independientes en San Andrés, La Palma, Pinar del Río, que han transitado ya durante varios años con el programa PIAL, con el objetivo de evaluar el nivel de estabilidad alcanzado en dichas fincas a través de importantes indicadores como la calidad del suelo, diversidad agrícola, retención de carbono y el balance energético, que indiquen la contribución de dichos ecosistemas para mitigar el cambio climático, la seguridad alimentaria y nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante este trabajo se realizaron los muestreos que constituyen la línea base. Los índices: físico, de diversidad, calidad nutricional y eficiencia energética, se utilizaron para construir el índice de estabilidad de la finca, en términos del componente de estabilidad y el factor influencias ambientales para la SAN.

A través de varios indicadores, se introducen aspectos cuantitativos en la contribución que el ecosistema puede hacer para mitigar el cambio climático, fundamentalmente mediante el secuestro permanente de carbono y la reducción de emisión de gases o transformación de gases más o menos dañinos, además de medir su contribución a la SAN.

Construcción de las expresiones del índice de estabilidad

El índice físico se define como:

$$I_F = P + O$$

donde:

P: Índice de profundidad efectiva

O: Índice de materia orgánica

El índice de diversidad se define como:

$$I_D = D_A + D_F$$

donde:

D_A : Índice de diversidad agrícola

D_F : Índice de diversidad forestal

El índice general de estabilidad se define como:

$$I_S = I_F + I_D + I_N + I_E$$

donde:

I_F : Índice físico

I_D : Índice de diversidad

I_N : Índice de calidad nutricional

I_E : Índice de eficiencia energética

Calidad física de los suelos. Los indicadores de calidad de los suelos son:

- ★ profundidad efectiva (horizonte A) en centímetros: se determina cavando calicatas
- ★ porcentaje de materia orgánica: se determina en el laboratorio con medios muy simples.

La profundidad efectiva y el porcentaje de materia orgánica se consideraron suficientes, puesto que los suelos expuestos a procesos erosivos siempre dejan ver su

calidad a través de estos indicadores. Estos valores se obtienen a partir de calicatas realizadas en lugares de cultivos de las 10 fincas seleccionadas y, posteriormente, estas muestras se llevan al laboratorio, para determinar el porcentaje de materia orgánica.

Diversidad agrícola y forestal. Para medirla se realizan inventarios de especies en cada finca y se toman como referencia las parcelas temporales de 25 m². Se anotan los datos necesarios de cada cultivo para calcular el índice de Shannon-Weiner, que es uno de los indicadores de diversidad seleccionados (7).

La diversidad forestal se mide haciendo conteos de árboles dispersos y parcelando los bosques compactos. En ambos casos, se recogen los datos de cubicación por especie (altura del árbol en metros y diámetro en centímetros a 130 cm del suelo). El indicador seleccionado es la cantidad de carbono en toneladas retenido por árboles en una hectárea. Para calcular el carbono retenido, es necesario realizar conteos y mediciones de árboles y, luego, aplicar cualquier método de cubicación válido, utilizando coeficientes móricos o tablas de cubicación que estén disponibles.

Funcionamiento energético. El balance energético se mide a partir de los datos obtenidos mediante encuestas, que incluyen los detalles sobre los insumos empleados y las producciones obtenidas.

Los indicadores seleccionados son:

- ♦ producción energética en megacalorías por hectárea
- ♦ gasto energético en megacalorías por hectárea
- ♦ producción de proteínas en kilogramos por hectárea
- ♦ relación producción energética/gasto energético.

Las encuestas al productor incluyen detalles del tipo y la cantidad de insumos y producciones, las horas de trabajo humano y animal para realizar las labores, etc. Para ambos se utilizan tablas de contenido energético promedio (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se analizan los resultados de la evaluación de cada uno de los índices obtenidos a partir de las mediciones en cada finca estudiada, los que indican el nivel de deterioro alcanzado en los ecosistemas agrícolas, sometidos a explotaciones intensivas con tendencia a la agricultura industrial durante muchos años.

Los valores de profundidad efectiva (profundidad del horizonte A), que es donde se desarrollan las labores agrícolas, confirman que son suelos degradados, ya que el valor máximo alcanzado para una finca es solamente de 26 cm y el caso extremo lo constituye la finca donde solo se alcanzan 8 cm de profundidad de horizonte A.

Unido a la disminución de la profundidad del horizonte A, se puede observar una disminución notable de los valores de materia orgánica que van asumiendo las fincas. El caso más crítico lo sigue siendo la finca 8, con muy poca profundidad y valores de materia orgánica por debajo del 1 %; sin embargo, para las restantes fincas,

en un solo caso los valores exceden el 1.50 %, distante aún del 2 % que se recomienda para los suelos cubanos, lo que indica la pérdida de las cualidades físicas de los suelos estudiados.

Tabla I. Valores de profundidad efectiva y porcentaje de materia orgánica en las fincas estudiadas

Finca	Profundidad efectiva (cm)	Materia orgánica (%)
1	26	1.20
2	15	1.33
3	20	1.25
4	18	1.14
5	13	1.27
6	14	1.23
7	21	1.82
8	8	0.93
9	20	1.26
10	14	1.21

Índice de diversidad. Incluye tanto la parte agrícola como forestal, los componentes efectivos del ecosistema agrícola, cuantifica la diversidad de especies de cultivo y sus variedades dentro del ecosistema. Para construirlo se utilizan dos indicadores: diversidad agrícola y cantidad de carbono retenido en toneladas/hectárea (Tabla II).

Tabla II. Valores del índice de Shannon-Weiner y volumen de carbono retenido en las fincas estudiadas

Finca	Índice de Shannon-Weiner	Carbono retenido (t.ha ⁻¹)
1	1.08	3,37
2	1.59	4,79
3	1.09	5,41
4	0.95	10,07
5	0.82	40,04
6	1.31	1,73
7	1.37	2,57
8	0.93	3,91
9	1.67	5,25
10	0.95	94,28

Los valores del índice de Shannon-Weiner expresan las afectaciones a la diversidad agrícola, con tendencia anterior a la poca diversificación e incluso, en algunos lugares, al monocultivo agrícola. Este indicador debe asumir valores cercanos o superiores a 2, para que la comunidad se considere en equilibrio y, como puede apreciarse en la tabla, existen fincas que están por debajo de 1 y las restantes están distantes del valor ideal, lo que demuestra que aún existen dificultades con la diversidad agrícola.

El siguiente indicador, volumen de carbono retenido, es un elemento importante para buscar equilibrio entre lo que se emite y lo que se retiene por parte de los árboles de la finca.

El comportamiento de este indicador recogido en la siguiente columna muestra que solo dos fincas de las estudiadas presentan abundancia de árboles, las restantes tienen valores muy bajos en relación con las toneladas de carbono por hectárea retenidas.

A pesar de reconocer que estas son fincas de intención agrícola, la presencia de árboles cercanos a las viviendas, los cauces de ríos y arroyos, y terrenos sin vocación agrícola pueden constituir un factor importante para mejorar y lograr la propia estabilidad de la finca.

Índice de calidad nutricional. Cuantifica la calidad nutricional de las producciones de la finca. Se seleccionó como único indicador de la producción de proteínas (kg.ha⁻¹) y muestra la gran diferencia que existe entre las fincas estudiadas, a pesar de no diferir notablemente en cuanto a tamaño (Tabla III).

Tabla III. Valores de producción de proteínas en las fincas estudiadas

Finca	Producción de proteínas (kg.ha ⁻¹)
1	237.13
2	94.46
3	150.54
4	18.43
5	23.29
6	165.68
7	87.59
8	91.11
9	51.61
10	274.62

Existe el caso de la finca 1, con una gran producción de proteínas/hectárea, al igual que la 10 y 6, en orden consecutivo, pero existen otras como la 4 y 5 con muy bajos niveles de producción de proteínas.

Es necesario tener presente que la cantidad de proteínas se cuantifica a partir de las producciones tanto vegetales como animales; por tanto, la clasificación de las producciones de las fincas puede tener un gran peso para medir los resultados de este indicador.

Índice de eficiencia energética. Cuantifica el nivel de eficiencia energética de la finca, que es una de las mayores preocupaciones para la estabilidad de un ecosistema productivo. Se necesita lograr ciertos niveles de eficiencia para alcanzar la estabilidad productiva y suficiencia alimentaria. Este índice se define a partir de la relación entre la energía que entra y la que sale del sistema (Tabla IV).

En este índice también difieren las fincas seleccionadas, lo que se aprecia más en el gasto energético/hectárea, que es un excelente indicador para establecer la resultante final entre la energía que se produce en el sistema y la que se consume, en otros términos, entre la energía que entra y la que sale del ecosistema. Existen fincas con balances energéticos muy positivos como la 4, 5 y 9, mientras que otras con balances muy bajos como la 1, 3 y 10.

Tabla IV. Valores de producción de proteínas en las fincas estudiadas

Finca	Producción energética (MCal.ha ⁻¹)	Gasto energético (MCal.ha ⁻¹)	Relación producción /gasto
1	5.885,88	12.818,36	0.45
2	2.948,28	1.660,62	1.78
3	3.208,66	8.864,32	0.36
4	921,83	228,86	4.08
5	853,58	200,30	4.26
6	3.552,99	390,68	9.09
7	2.992,82	1.001,14	2.99
8	3.436,63	1.332,72	2.58
9	2.070,03	756,53	2.74
10	6.150,89	11.919,11	0.52

Influyen considerablemente en este balance algunos elementos que entran a la finca, tales como los fertilizantes, lubricantes y grasas, así como los pesticidas y concentrados protéicos para la alimentación animal, por contener un gran potencial energético. Los balances en la columna de la derecha son indicativos de la diversidad de fincas en la muestra seleccionada.

Estandarización de los indicadores. Al correlacionar los datos de los indicadores seleccionados y medidos, se obtiene una matriz escalón con los indicadores ordenados por fila y columna, y los coeficientes de correlación calculados en sus intercepciones (Tabla V).

Se aprecia que no hay valores altos de correlación entre los indicadores, ni siquiera en el caso de la relación entre la profundidad efectiva del suelo y su contenido de materia orgánica, el coeficiente de correlación no sobrepasa el valor aceptable de 0.50 y no parece haber una fuerte dependencia, al menos para estos conjuntos de datos. Por tanto, no sería apropiado aplicar el peso de un indicador a través de otro (dependencia funcional), sino adicionar los indicadores para que cada uno aporte su

peso individualmente a las expresiones de los índices (incluido el índice general).

Entonces surge el problema de cómo hacerlo, qué tipo de estandarización aplicar y si incluir o no coeficientes, para amplificar o disminuir el peso de cada indicador. Existen dos problemas:

- ⇒ no aparecen referencias de estudios estadísticos sobre la relación entre factores físicos, de diversidad y balance energético, al mismo tiempo asociados a los componentes de la SAN, que ofrezcan criterios de ponderación
- ⇒ no hay datos suficientes para intentar realizarlos.

La decisión tomada consiste en:

- ⊕ estandarizar los indicadores en una escala de tres valores de cero a dos, que resulta en la definición de seis índices, uno por indicador (Tablas VI y VII).
- ⊕ construir las expresiones para calcular los índices de estabilidad, sumando los que resultaron de la estandarización de los indicadores relacionados
- ⊕ construir la expresión del índice general, sumando los índices de estabilidad. Por tanto, se asigna el mismo peso estadístico a cada indicador.

La razón por la cual se escogió este procedimiento, del que se desprende que un comportamiento promedio no estaría necesariamente cerca del valor medio sino de la mediana, radica en que, a menos que se cometan serios errores, no debe haber variaciones espectaculares de un ecosistema al otro para el mismo indicador.

Valoración del cálculo del índice de estabilidad del ecosistema. El índice general de estabilidad toma valores entre 0 y 12, que representa, en calidad ascendente, cómo es el desempeño de la finca, desde el punto de vista del factor influencias ambientales y componente estabilidad, para la SAN (Tabla VIII).

Tabla V. Coeficientes de correlación entre indicadores

	Profundidad efectiva	Materia orgánica	Índice de Shannon	Carbono retenido	Producción de proteínas
Materia orgánica	0.4464				
Índice de Shannon	0.2958	0.4339			
Carbono retenido	-0.2910	-0.1021	-0.4411		
Producción de proteínas	0.2023	-0.0896	-0.1260	0.4251	
Relación energética	-0.3371	0.0107	0.0905	-0.2526	-0.3227

Tabla VI. Rangos definidos para estandarizar los indicadores

Indicador	Mínimo	Máximo	(Max-Min)	Valor del índice		
				0	1	2
Profundidad efectiva	8.00	26.00	6.00	8 a 14	15 a 20	21 a 26
Materia orgánica	0.93	1.82	0.30	0.93 a 1.23	1.24 a 1.52	1.53 a 1.82
Índice de Shannon	0.82	1.67	0.28	0.82 a 1.10	1.11 a 1.39	1.40 a 1.67
Carbono retenido	1.73	94.28	30.85	1.73 a 32.58	32.59 a 63.43	63.44 a 94.28
Producción de proteínas	18.43	274.62	85.39	18.43 a 103.83	103.84 a 189.22	189.23 a 274.62
Relación energética	-	-	-	10 a 100	1 a 10	0 a 1

Tabla VII. Valores estandarizados de los índices para las fincas estudiadas

Finca	Índice físico (I _F)		Índice de diversidad (I _D)		Índice de calidad nutricional (I _N)	Índice de eficiencia energética (I _E)
	Profundidad efectiva (P)	Materia orgánica (O)	Diversidad agrícola (D _A)	Diversidad forestal (D _F)		
1	2	0	0	0	2	0
2	1	1	2	0	0	1
3	1	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	1
5	0	1	0	1	0	1
6	0	0	1	0	1	1
7	2	2	1	0	0	1
8	0	0	0	0	0	1
9	1	1	2	0	0	1
10	0	0	0	2	2	0

Tabla VIII. Valores calculados de los índices construidos para las fincas estudiadas

Finca	Índice físico (I _F)	Índice de diversidad (I _D)	Índice de calidad nutricional (I _N)	Índice de eficiencia energética (I _E)	Índice general de estabilidad (I _S)
1	2	0	2	0	4
2	2	2	0	1	5
3	2	0	1	0	3
4	1	0	0	1	2
5	1	1	0	1	3
6	0	1	1	1	3
7	4	1	0	1	6
8	0	0	0	1	1
9	2	2	0	1	5
10	0	2	2	0	4

En esta tabla puede apreciarse que la columna de la extrema derecha refleja el valor del índice de estabilidad y, tomando en consideración el rango de valores que puede asumir, se observa que el mejor desempeño para una finca, en este caso la 7, no sobrepasa el valor 6, e incluso la finca de peor comportamiento, la 8, solo alcanza el valor 1.

Esto no indica que la finca de mejor comportamiento esté en la situación ideal de desempeño que se espera para los ecosistemas agrícolas, pero que tenga una buena contribución para mitigar el cambio climático y la SAN, pues un valor comprendido entre 9 y 12 indica el nivel de desempeño adecuado, que está muy cercano al equilibrio estructural y funcional.

CONCLUSIONES

El procesamiento estadístico realizado a la serie de datos, para la elaboración del índice general de estabilidad, demostró que todos los elementos de los ecosistemas que se monitorearon tienen igual peso en el nivel de desempeño de las fincas.

La valoración realizada a cada una de las fincas seleccionadas, a partir del cálculo del índice de estabilidad, es un reflejo real de su situación, lo que se puede constatar en las visitas que se realicen a esos ecosistemas agrícolas.

Los resultados muestran que aún existen lagunas y posibilidades para trabajar en los ecosistemas, con el fin de lograr que funcionen como verdaderos sistemas integrales y que, de esta forma, aumenten su contribución a mitigar el cambio climático y la SAN.

REFERENCIAS

- Pérez, M. La política y la cultura energética. *Revista Energía y Tú. Cubasolar*, 2005, no. 32.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. Roma, 1996.
- Jiménez, S. Seguridad Alimentaria y Nutricional. Una mirada global. *Revista Cubana de Salud Pública*, 2005, vol. 31, no.3.
- Jiménez, S. Algunas consideraciones generales sobre la seguridad alimentaria. Seminario Internacional de Nutrición (III, 1994, Riobamba), Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud FAO. Conferencia Internacional sobre Nutrición: Nutrición y desarrollo -una evaluación mundial-; Roma: FAO y OMS, 1992.
- Eide A, Oshaug, A. y Eide, W. Food security and the right to food in international law and development. New York: UNICEF; 1992, vol. 1.
- Pino, J. del, Oliet, J. A. Empleo de diferentes índices de biodiversidad en los modelos basados en técnicas de decisión multicriterio. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, 2005.
- Funes, F. Eficiencia energética de los sistemas agrícolas integrados ganadería/agricultura. Centro Virtual Investigación y Desarrollo. Boletín electrónico V, 1997.

Recibido: 7 de julio de 2008

Aceptado: 23 de febrero de 2009