

## Evaluación Sistémica de Agroecosistemas: El índice Agroecológico

*Systemic evaluation of agroecosystems: the agroecological index*

GRIFFON, Diego. Universidad Bolivariana de Venezuela, Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral, Laboratorio de Biología Teórica-Universidad Central de Venezuela, [diego\\_griffon@yahoo.com](mailto:diego_griffon@yahoo.com).

### Resumen

En la agroecología, es necesario disponer de herramientas prácticas que permitan evaluar situaciones agrícolas sistémicamente. En este trabajo, se propone un nuevo índice para evaluar agroecosistemas, índice que permite evaluar el sistema como un todo. En este índice, aparte de evaluar el número y abundancia de los elementos del sistema, también se toma en cuenta su interacción, esto permite evaluar atributos funcionales de los elementos evaluados. Aquí se muestra mediante ejemplos simples, algunas de las ventajas de este nuevo índice.

**Palabras claves:** Analisis sistémico, agrobiodiversidad funcional, análisis de redes.

### Abstract

*In agroecology, it is needed to have practical tools to evaluate agricultural situations systemically. In this work, it is propose a new index to evaluate agroecosystems. This index allows the evaluation of the system as a whole. In this index, besides of measuring the number and abundance of the elements of the system, it is also take into account their interaction. This allows the evaluation of functional attributes of the evaluated elements. Here is shown through simple examples some of the advantages of this new index.*

**Keywords:** Systemic analysis, functional agrobiodiversity, networks analysis.

### Introducción

Un principio fundamental de la agroecología postula que: “*el agroecosistema debe ser manejado holísticamente*” (GLIESSMAN, 1998; ALTIERI y NICHOLLS, 2000). Este principio involucra evaluar las interacciones entre los elementos del sistema, interacciones que son consideradas fundamentales. Por lo tanto, al hacer énfasis en el estudio de las interacciones, en la agroecología se considera al agroecosistema como un sistema complejo (ALTIERI y NICHOLLS, 2000).

A pesar de la importancia que tienen las interacciones en el análisis agroecológico, son pocas las herramientas prácticas de las que dispone el agroecólogo para evaluar las interacciones a la hora de enfrentar una situación real. En este artículo se propone un nuevo índice para realizar evaluaciones de predios agrícolas. Este nuevo índice es similar a los índices de diversidad biológica clásicos, pero incorpora la evaluación del número de relaciones entre los elementos del agroecosistema, así como la redundancia de estas relaciones (GRIFFON, 2009). Este índice puede ser utilizado para evaluar relaciones de cualquier tipo entre los diversos componentes (animados e inanimados) de un predio agrícola. En este trabajo se muestra mediante ejemplos simples algunas de las virtudes de esta herramienta.

## Metodología

Un primer paso para evaluar el agroecosistema utilizando este índice, consiste en representar el sistema como un grafo. Un grafo no es más que un conjunto de nodos unidos a través de vínculos. En nuestro caso, los nodos representan los elementos del sistema y los vínculos las relaciones entre los elementos. De esta manera, se estudian tanto los componentes del sistema como sus interacciones.

Para el cálculo del índice que aquí se propone, es imprescindible establecer cuales son las relaciones entre los componentes del agroecosistema. También se debe recopilar la información que toman en cuenta los índices de biodiversidad tradicionales, es decir: el número de clases observadas ( $S$ ) y el tamaño de cada clase ( $n_i$ ). El aporte de nuestro índice, consiste en tomar en cuenta también el número de relaciones entre los elementos y la redundancia de estas interacciones.

### Estructura del índice

El índice que proponemos, esta compuesto de tres medidas diferentes: (a) una primera medida, resultante de la aplicación de alguno de los índices clásicos de biodiversidad, (b) una segunda medida, que brinda información sobre el número de vínculos presentes en el sistema y (c) una tercera medida, que estima el grado de redundancia en el sistema.

(a) *Índice clásico*: Como índice clásico, en este trabajo utilizamos el índice de *Shannon Estandarizado*, este índice al estar estandarizado permite la comparación entre sistemas diferentes. La estructura de este índice es la siguiente:

$$H'_{st} = \frac{H'}{H'_{max}}$$

donde  $H'_{st}$  es el valor del índice de Shannon estandarizado,  $H'$  es el valor observado del índice y  $H'_{max}$  representa el valor máximo del índice, es decir el valor del índice en un sistema compuesto por igual número de clases, en el que todas las clases presenten igual frecuencia. El valor de este índice varía entre 0 y 1.

(b) *Número de conexiones*: Una buena medida estándar del número de vínculos en un grafo, es la densidad ( $D$ ). Esta no es otra cosa que el número de vínculos observados en el grafo, comparados con el máximo posible (grafo completo). Es decir, comparado con el número de vínculos en un grafo de igual números de nodos, en donde todos los nodos se conectan entre si. La expresión matemática de la densidad tiene la siguiente forma (COSTA et al., 2007):

$$D = \frac{V_o}{V_{max}}$$

Donde  $V_o$  es el número de vínculos observado y  $V_{max}$  es el número de vínculos en un grafo completo con igual número de nodos. El número de vínculos en un grafo completo con  $N$  nodos

$$V_{max} = \frac{N(N-1)}{2}$$

es (COSTA et al., 2007):

De esta manera, al tomar en cuenta la densidad del grafo en nuestro índice, incorporamos una

## Resumos do VI CBA e II CLAA

medida sencilla relacionada directamente con el número de interacciones en el sistema. Esta medida al estar estandarizada por el número máximo de vínculos, tiene la virtud de permitir su comparación con sistemas que tengan un número diferente de elementos.

*Redundancia del grafo:* La redundancia del sistema puede ser estimada a través del coeficiente de agrupamiento ( $C$ ). Esta medida está relacionada con la presencia de bucles cortos dentro del grafo (*i.e.*, bucles entre 3 nodos). El coeficiente de agrupamiento representa una medida de la redundancia en el grafo y de la posible presencia de retroalimentación, por lo cual está posiblemente relacionada con la homeostasis del sistema. Una definición de este coeficiente es (COSTA et al., 2007)

:

$$C = \frac{3N_{\Delta}}{N_3}$$

Donde  $N_{\Delta}$  es el número de triángulos en el grafo y  $N_3$  es el número de tripletas conectadas. Un triángulo, es un set de tres nodos con vínculos entre cada par de nodos. Una tripleta conectada, es un set de tres nodos, donde cada nodo puede ser alcanzado a partir de cualquier otro nodo de la tripleta (directa o indirectamente). En la ecuación anterior, el factor 3 en  $N_{\Delta}$  (observado en el numerador), se explica por que cada triángulo puede ser entendido como consistente de tres tripletas. Esto asegura que el coeficiente adquiera valores entre 0 y 1. Estas medidas pueden ser definidas de la siguiente manera (COSTA et al., 2007):

$$N_3 = \sum_{k > j > i} (a_{ij}a_{ik} + a_{ji}a_{jk} + a_{ki}a_{kj})$$
$$N_{\Delta} = \frac{1}{3} \sum_{k > j > i} a_{ij}a_{ik}a_{jk}$$

donde la letra "a" representa la presencia de un vínculo entre dos nodos. Las sumatorias deben hacerse sobre todas las tripletas ordenadas ( $i, j, k$ ) de los distintos nodos ( $i, j$  y  $k$ ).

### *Índice de diversidad agroecológico ( $I_{Agro}$ )*

El índice que en este trabajo se propone ( $I_{Agro}$ ), está determinado por una ecuación lineal aditiva que agrupa cada uno de los componentes de la siguiente forma:

$$I_{Agro} = H'_{St} + D + C$$

Dado que todos los componentes del índice están estandarizados (su máximo valor es 1), el máximo valor del índice es 3. Es importante resaltar que los términos  $D$  y  $C$  en este índice, pueden ser calculados directamente utilizando programas como PAJEK (BATAGELJ y MRVAR, 2003) o UCINET (BORGATTI, EVERETT y FREEMAN, 2002), una vez que se tenga establecido el grafo que representa el sistema.

### Ensayo de aplicación del índice

Como una manera de demostrar las ventajas que pudiese tener la utilización de este índice, realizaremos el experimento consistente en comparar el desempeño de nuestro índice ( $I_{Agro}$ ), en

## Resumos do VI CBA e II CLAA

tres situaciones hipotéticas de campo. Supondremos que aplicamos el índice a tres predios que son manejados bajo diferentes enfoques: (i) el Predio 1 es manejado de manera convencional, (ii) el Predio 2 se encuentra en una fase de transición (esquema de sustitución de insumos) y (iii) el Predio 3 presenta un manejo agroecológico.

Supongamos que en todos los predios se encuentran los mismos elementos en iguales cantidades. Digamos que estos elementos son: una unidad familiar (H) compuesta por 4 personas, tres cultivos diferentes (C1, C2 y C3) cada uno compuesto de 4000 plantas, una cría de aves (G) compuesta de 500 individuos y una cría de bovinos (B) compuesta por 50 individuos. La diferencia entre los sistemas de manejo consiste en que: (1) en el Predio 1 cada componente es manejado por separado, (2) en el Predio 2 se utilizan la gallinaza producida por las aves para fertilizar los cultivos y (3) en el Predio 3 el sistema se encuentra altamente integrado (e.g., asociación de cultivos, utilización de los subproductos para la alimentación animal, producción de abonos a partir de las excretas animales). Una representación de los sistemas en forma de grafo se puede apreciar en la Figura 1.

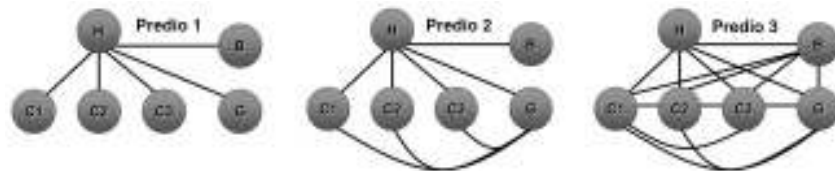


FIGURA 1. Representación en forma de grafo de los sistemas evaluados.

### Resultados

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la aplicación del índice Agroecológico a cada uno de los sistemas de manejo considerados en el ejemplo.

TABLA 1. Valores del índice en cada predio.

	Shannon Est.	Densidad	Agrupamiento	Índice Agroecológico
Manejo 1	0,695	0,333	0,0000	1,028
Manejo 2	0,695	0,666	0,200	1,561
Manejo 3	0,695	1,000	1,000	2,695

Se puede apreciar como el valor del índice de Shannon estandarizado es igual para todos los predios. De igual manera, se puede observar como el valor de la densidad y del coeficiente de agrupamiento se incrementan desde el sistema de manejo convencional (Predio 1) hacia el sistema Agroecológico (Predio 3).

### Conclusiones

Los resultados mostrados en la Tabla 1 indican claramente como el valor del Índice Agroecológico se incrementa en la medida en que un predio agrícola transita el camino hacia el manejo agroecológico. El aumento significa que el sistema se encuentra mas integrado. Es importante resaltar que esto no ocurre con el valor del índice de Shannon. Esto se debe a que el índice de Shannon, al igual que todos los índices clásicos, no toma en cuenta las interacciones entre los elementos del sistema. Esta es la razón por la cual el uso de índices clásicos, para evaluar el proceso de transición hacia la agroecología es inconveniente. El índice propuesto en este trabajo, es cónsono con el marco teórico propio de la agroecología. Mediante su utilización, se pueden evaluar atributos funcionales de la agrobiodiversidad, imposibles de estudiar mediante el empleo de los índices clásicos. Es importante resaltar que la estructura del índice es sumamente sencilla y su cálculo se puede realizar directamente mediante el empleo de programas estándar de análisis de redes.

**Referencias**

ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. *Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable*. 1 .ed. México, D. F: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2000. (Séries Texto Básicos para La Formación Ambiental n. 4.)

BATAGEL, J.V.; MRVAR, A. Pajek - Analysis and Visualization of Large Networks. En: JÜNGER, M.; MUTZEL, P. (Eds.). *Graph Drawing Software*. Berlin: Springer, 2003.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M.G.; FREEMAN, L.C. *Ucinet 6 for windows: software for social network analysis*. Harvard: Analytic technologies, 2002.

COSTA, L.F. et al. Characterization of complex networks: a survey of measurements. *Advances in Physics*, London, v. 56, p. 167-242, 2007.

GLIESSMAN, S. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Santa Cruz: Sleeping Bear/ Ann Arbor Press, 1998, 384 p.

GRIFFON, D. *Estimación de la biodiversidad en agroecología*. Agroecología. En prensa, 2009.