

Agroecología 3: 25-31, 2008

ESTIMACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN AGROECOLOGÍA

Diego Griffon B.

*Universidad Bolivariana de Venezuela. Calle Leonardo Da Vinci, Los Chaguaramos. Caracas, Venezuela.
Código postal 1040. E-mail: d.griffon@lycos.com*

Resumen

Manejar holísticamente los sistemas agrícolas, es uno de los principios centrales de la agroecología. Para lograr esto, es indispensable trascender la visión reduccionista imperante en las ciencias agrícolas convencionales. En la agroecología, es necesario disponer de herramientas prácticas que permitan evaluar situaciones agrícolas sistémicamente. Lamentablemente, son pocos los instrumentos concretos con los que cuenta el agroecólogo para realizar esta tarea. En este trabajo, se propone un nuevo índice para evaluar la agrobiodiversidad, índice que permite evaluar el sistema como un todo. En este índice, aparte de evaluar la riqueza y abundancia de los elementos del sistema, también se toma en cuenta su interacción, esto permite evaluar atributos funcionales de la agrobiodiversidad. Aquí se muestra mediante ejemplos simples, algunas de las ventajas de este nuevo índice.

Palabras clave: tramas ecológicas, agrobiodiversidad funcional, análisis de redes.

Summary

Biodiversity estimation in agroecology

The holistic management of farming systems is one of the central principles of the agroecology. To accomplish this, it is essential to transcend the reductionist vision prevailing in conventional agricultural sciences. In agroecology, it is needed to have practical tools to evaluate agricultural situations systemically. Unfortunately, there are few concrete tools to perform this task. In this work, it is proposed a new index to measure agrobiodiversity. This index allows the evaluation of the system as a whole. In this index, besides of measuring the richness and abundance of the elements of the system, it is also taken into account their interaction. This allows the evaluation of functional attributes of the agrobiodiversity. Here is shown through simple examples some of the advantages of this new index.

Keywords: ecological webs, functional agrobiodiversity, networks analysis.

Introducción

La agroecología trasciende la visión reduccionista característica de la revolución verde (López y López 2003, Griffon 2008a). En esta ciencia se estudia el agroecosistema como un todo (holísticamente) y se considera a este como un sistema complejo. Un sistema complejo puede ser descrito como un sistema compuesto de múltiples elementos que interactúan de múltiples formas (Sole y Manrubia 1996). El enfoque de sistemas complejos, le permite a la agroecología tener un acercamiento integral a los procesos que se dan en el agroecosistema y de esta manera, superar la aproximación simplista de la agricultura industrial (Altieri y Nicholls 2000).

En un sistema complejo, muchas propiedades no están determinadas solamente por la identidad de

los elementos del sistema (Capra 1996). Es ampliamente reconocido que en este tipo de sistemas, muchas propiedades dependen de las interacciones (Sole y Manrubia 1996). Estas propiedades que surgen de la interacción entre los componentes se conocen como propiedades emergentes (Sole y Goodwin 2001). La estabilidad (homeostasis) de un agroecosistema, es un ejemplo clásico de una propiedad emergente. La estabilidad no depende solamente de la identidad de los componentes de la agrobiodiversidad, también esta en alto grado determinada por las interacciones entre los componentes (Odum y Sarmiento 1998).

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. Esta carestía de herramientas, en muchos

casos obliga al agroecólogo a utilizar instrumentos que no son acordes con el marco teórico de esta ciencia. Importantes excepciones, entre otras, son: los balances energéticos (Naredo y Campos, 1980) y los diagnósticos realizados mediante la metodología MESMIS (Maser *et al.* 1999).

La carencia de herramientas acordes con los fundamentos teóricos de la agroecología, se puede apreciar en el siguiente ejemplo: un principio fundamental de la agroecología postula que: “*se debe aumentar la biodiversidad del agroecosistema*” (Gliessman 1998, Altieri y Nicholls 2000, Núñez 2005, Griffon 2008b). Por lo tanto, uno de los primeros pasos que debe efectuar el agroecólogo en la evaluación de un agroecosistema, es estimar la biodiversidad (para una revisión sobre el estudio de la agrobiodiversidad ver Clergue *et al.* (2005). Las herramientas clásicas para realizar un análisis de esta naturaleza son los índices de biodiversidad (*e.g.*, Shannon, Simpson, Margalef). Sin embargo, el uso de estos índices nos pudiese llevar a importantes errores.

Todas las medidas de biodiversidad con las que actualmente contamos, son producto del enfoque reduccionista imperante la ciencia actual. Estas medidas se centran en el estudio de los componentes del sistema y no toman en cuenta sus interacciones. Esto se puede apreciar fácilmente, si nos percatamos que estos índices sólo toman como datos: (i) el número de especies o clases observado (S) y (ii) el tamaño de cada muestra (N_i). Es decir, ninguna variable toma en cuenta las relaciones entre las partes.

El enfoque reduccionista de los índices de biodiversidad clásicos, no está acorde con el cambio de paradigma que intenta llevar a cabo la agroecología (Griffon 2008b). Una manera de solucionar este problema, es tomar en cuenta en los índices de biodiversidad la multiplicidad de interacciones presentes en el sistema.

Un tipo importante de interacciones entre los componentes de un agroecosistema, son las relaciones tróficas. Estas interacciones, en buena medida, determinan la estabilidad de las poblaciones presentes. Si en un agroecosistema las relaciones tróficas son del tipo lineal (el flujo de energía sigue un solo camino posible), los estimados de biodiversidad obtenidos de los índices clásicos son equivalentes a la diversidad de interacciones presente en el sistema (comparar número de flechas y organismos en la Figura 1).

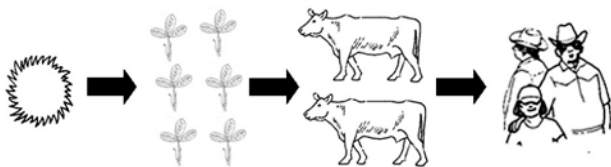


Figura 1. Relaciones tróficas lineales.

Sin embargo, intentar reducir el agroecosistema a una cadena trófica lineal, es una de los principales errores de la revolución verde (Griffon 2008b) y cualquier agroecólogo esta conciente de que esta situación esta muy alejada de la realidad. Los agroecosistemas, al igual que los ecosistemas naturales, se caracterizan por presentar relaciones tróficas no lineales (el flujo de energía puede seguir diferentes rutas). En este caso, los índices de biodiversidad clásicos siempre subestiman los niveles de diversidad de interacciones (comparar número de flechas y organismos en la Figura 2) y por lo tanto no son adecuados para la agroecología.

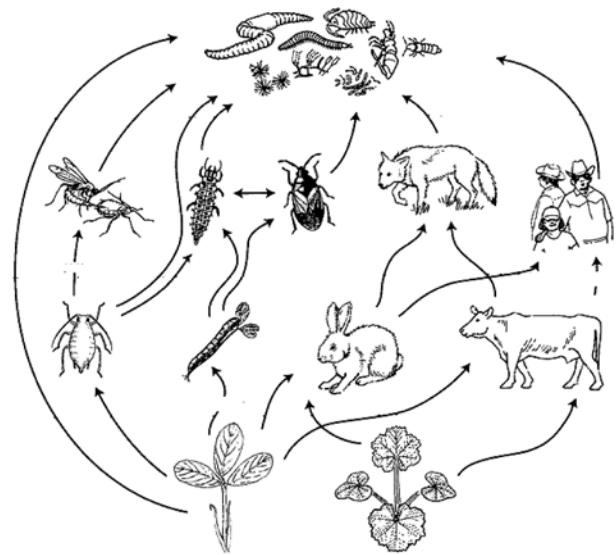


Figura 2. Relaciones tróficas no lineales.

De esta manera, nos damos cuenta que para ser congruentes con el marco teórico de la agroecología, debemos trascender el acercamiento reduccionista presente en los índices clásicos de biodiversidad. Para lograr esto, debemos construir herramientas que tomen en cuenta las interacciones entre los componentes. De esta manera estaremos haciendo énfasis en la red de interacciones presente en el agroecosistema, red responsable de muchas de las propiedades que son relevantes en el análisis agroecológico.

El estudio de redes pareciera natural a la agroecología y tal vez permita realizar análisis que de otra manera serían imposibles. Recientemente se realizó un estudio (Griffon y Torrez-Alruiz 2008) en el que se mostró mediante análisis de redes, por qué un monocultivo es inherentemente inestable. Para realizar esto, los autores se centraron en estudiar las redes tróficas de ecosistemas naturales y comparar estas con las redes presentes en los monocultivos. Este ejemplo muestra como se pueden llegar a resultados interesantes, cuando se analizan situaciones agroecológicas con herramientas acordes con el marco teórico de esta ciencia.

Como ya se mencionó, el principal problema que enfrentan los agroecólogos en la realización de estudios de esta naturaleza, es la escasez de herramientas idóneas para llevarlos a cabo. Por este motivo, en este artículo se propone un nuevo índice de biodiversidad. Índice acorde con el marco teórico de la agroecología. Este nuevo índice toma en cuenta, como la mayoría de los índices clásicos, la abundancia y riqueza de elementos en el sistema, pero además considera el número de relaciones entre los elementos, así como la redundancia de estas relaciones. Este índice, no solo es útil para evaluar las relaciones ecológicas entre los componentes de la agrobiodiversidad, también puede ser utilizado para evaluar relaciones de cualquier tipo entre los diversos componentes (animados e inanimados) de un predio agrícola y por lo tanto puede ser una herramienta útil de diagnóstico.

Materiales y métodos

1. Representación de sistemas en forma de grafos

Un primer paso para evaluar un sistema como un sistema complejo, consiste en apreciar que el mismo puede ser representado como un grafo. Por ejemplo, veamos si un sistema ecológico simple, compuesto por una planta, un conejo, una vaca y un zorro puede ser representado de esta forma. La primera pregunta que debemos contestar es: ¿Cuáles son las relaciones entre los componentes del sistema? Por simplicidad, consideremos solamente las relaciones tróficas. De esta manera, nos damos cuenta que tanto la vaca como el conejo se pueden alimentar de la planta, mientras que el zorro se pudiese alimentar de ambos animales. Esta situación se puede representar fácilmente utilizando un grafo (Figura 3). Un grafo no es más que un conjunto de nodos unidos a través de vínculos. En nuestro ejemplo, los nodos representan los elementos del sistema y los vínculos las relaciones entre los elementos.

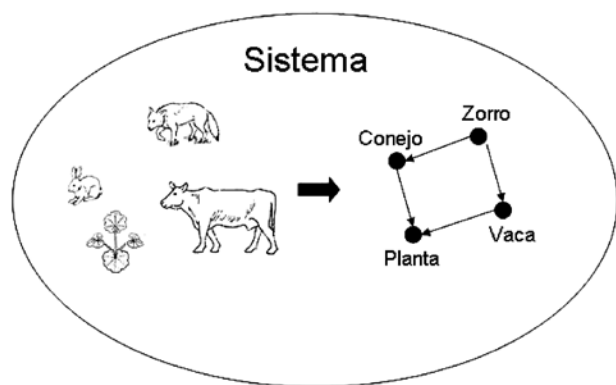


Figura 3. Representación de un sistema natural en forma de grafo.

En este ejemplo hemos representado como nodos a los componentes biológicos del sistema, pero sin

ningún problema pudiésemos representar como nodos componentes inanimados. De igual manera, en el ejemplo solo hemos tomado en cuenta las relaciones tróficas entre los componentes, pero los vínculos pueden ser correctamente utilizados para representar cualquier tipo de relación (ecológica o no) entre los componentes.

El índice que aquí se propone, se fundamenta en reconocer que los agroecosistemas también pueden ser representados de esta manera. Siendo esta la aproximación que consideramos correcta para la agroecología. Aproximaciones reduccionistas al estudio de la biodiversidad en el agroecosistema, pudiesen llevarnos a importantes subestimaciones, como se demostrará mas adelante.

Para el cálculo del índice que aquí se propone, es imprescindible establecer cuales son las relaciones entre los componentes de la agrobiodiversidad. De esta manera se puede representar el sistema como un todo en forma de grafo. También se debe recopilar la información que toman en cuenta los índices tradicionales, es decir: el número de clases observadas (S) y el tamaño de cada clase (N_i).

El objetivo de este trabajo no es desconocer las virtudes de los índices tradicionales, nuestro objetivo es intentar ajustar la estimación de la agrobiodiversidad al marco conceptual propio de la agroecología. Nuestro índice toma en cuenta tanto el número de especies, como la equidad en su distribución. Esto se lleva a cabo considerando en su estructura, el valor obtenido mediante el empleo de alguno de los índices clásicos. El aporte de nuestro índice, consiste en tomar en cuenta también el número de relaciones entre los elementos y la redundancia de estas interacciones.

2. 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. Este índice se representa normalmente como H'_{st} . La fórmula del índice de Shannon (no estandarizado) es la siguiente:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde p_i representa la proporción de individuos de la clase i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la clase i). Para estandarizar este

índice, se utiliza la razón entre el valor observado y el valor máximo del índice para un sistema de igual número de especies, es decir:

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

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.

(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 es (Costa *et al.* 2007):

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

De esta manera, al tomar en cuenta la densidad del grafo en nuestro índice, incorporamos una 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, característica muy deseable en un índice.

(c) 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. 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 índice es (Costa *et al.* 2007):

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

Donde N_{Δ} es el número de triángulos en el grafo y N_3 es el número de triplas 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_{Δ} (observado en el numerador), se explica por que cada triplas puede ser entendido como consistente de tres triplas. Esto asegura que el coeficiente adquiera valores entre 0 y 1. Estas medidas pueden ser definidas de la siguiente manera (Costa *et al.* 2007):

$$N_{\Delta} = \frac{1}{3} \sum_{k>j>i} a_{ij} a_{jk} a_{ki}$$

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

Donde las sumatorias deben hacerse sobre todas las triplas ordenadas (i, j, k) de los distintos nodos i, j y k .

3. Índice de diversidad agroecológico (I_{Agro})

El índice que en este trabajo se propone (I_{Agro}), esta 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 *et al.* 2002), una vez que se tenga establecido el grafo que representa el sistema.

4. 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}), con el Índice de Shannon Estandarizado, en dos situaciones hipotéticas de campo.

Supongamos que estamos interesados en estimar la biodiversidad en dos predios agrícolas, supongamos también que ambos predios son iguales en cuando a los rubros explotados y que solo difieren en el manejo.

En específico, supongamos que en estos predios observamos Maíz, Frijol, Calabaza, Ganado bovino, Chiles y Orugas (alimentándose sobre el Maíz). Supongamos que estos componentes se encuentran en ambos predios en iguales cantidades, las cuales corresponden a los valores presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidades de cada uno de los organismos observadas en los predios.

Clases	Maíz	Frijol	Calabaza	Chile	Vacas	Orugas
Individuos	40	40	20	10	8	20

Esta es la única información que necesitamos para calcular el Índice de Shannon Estandarizado. Sin embargo, para el cálculo de Índice Agroecológico, necesitamos también establecer cuales son las relaciones entre los componentes del sistema. Estas relaciones, se pueden establecer de acuerdo a criterios netamente ecológicos, es decir en términos de relaciones del tipo mutualista, comensalista, parasitismo, etc. Sin embargo, es recomendable también tomar en cuenta las relaciones que se establecen mediante la intermediación del manejo agronómico del predio; por ejemplo, se puede tomar en cuenta una relación entre la vaca y los cultivos, si el estiércol de esta se utiliza como fertilizante. De esta manera, se incorpora en el índice las propiedades funcionales de los diferentes elementos del sistema.

En el caso del primero de los predios evaluados, supongamos que cada cultivo se siembra en monocultivo y que la única práctica ecológica que se lleva a cabo, es el uso de la bosta para la fertilización. En este predio, las relaciones se dan entre la vaca y los cultivos y entre las orugas y el maíz. De esta manera, pudiésemos representar este sistema en forma de grafo de acuerdo a lo presentado en la Figura 4.

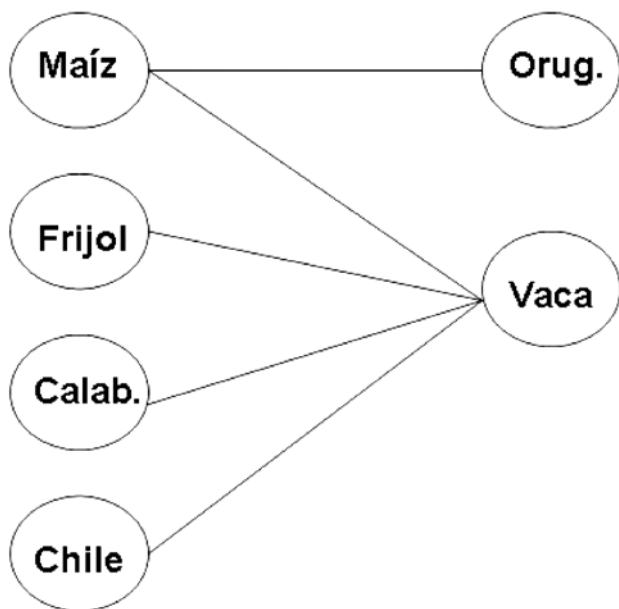


Figura 4. Representación en forma de grafo del Predio 1.

En el caso del segundo predio, supongamos que el maíz, el frijol y la calabaza se siembran asociados. Supongamos también, que se utilizan preparados a partir del chile para el control de plagas en los otros cultivos y que se usa la bosta para la fertilización. En este predio, además de las relaciones presentes en el Predio 1, también se presentan relaciones entre la asociación maíz-frijol-calabaza, y entre los chiles y los otros cultivos. En este caso, el sistema se pudiese representar en forma de grafo de acuerdo a lo presentado en la Figura 5.

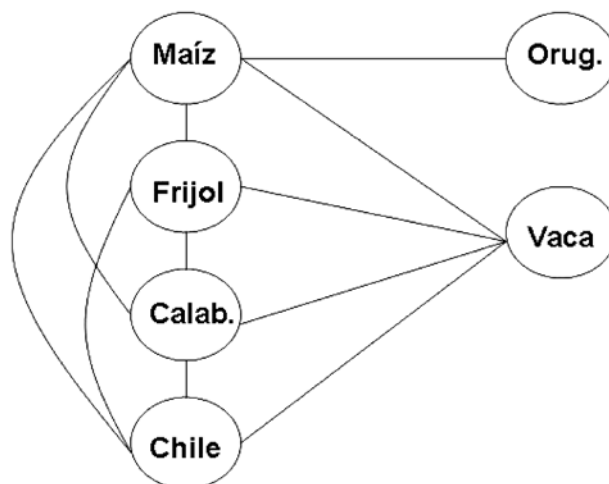


Figura 5. Representación en forma de grafo del Predio 2.

A pesar de que en ambos predios se observan los mismos componentes, debido a las diferencias de manejo, sus representaciones en forma de grafo son diferentes. Los valores del índice de Shannon Estandarizado para ambos predios se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores del índice de Shannon Estandarizado

	Predio 1	Predio 2
Índice de Shannon Est.	0,911	0,911

Los valores de los componentes del Índice Agroecológico, así como su valor total se presentan en la Tabla 3. Se puede observar como el índice de Shannon Estandarizado arroja el mismo valor para los dos predios estudiados. El índice agroecológico muestra valores diferentes para ambos predios, este índice presenta un mayor valor en el Predio 2, esto se debe a que en este predio existe un mayor número de interacciones entre los componentes.

Tabla 3. Valores del índice Agroecológico

	Predio 1	Predio 2
Shannon Est.	0,911	0,911
Densidad del grafo	0,333	0,600
Coefficiente de Agrup.	0,000	0,250
Índice Agroecológico	1,244	1,761

Discusión

Como ya se mencionó, los índices clásicos (entre ellos el de Shannon) sólo toman en cuenta la riqueza y abundancia de los componentes del sistema. En el ejemplo presentado aquí, ambos predios presentan los mismos elementos, en iguales proporciones, razón por la cual en términos del índice de Shannon son equivalentes.

Al realizar un análisis agroecológico de estos predios, nos damos cuenta que son sumamente diferentes. En el

diseño del Predio 2, se estimula la ocurrencia de interacciones funcionales entre los componentes, interacciones claves en el manejo agroecológico. Sin embargo, todos los índices tradicionales son indiferentes ante esta situación. Razón por la cual, el uso de estos índices puede llevarnos a graves errores, como lo sería por ejemplo, considerar a ambos predios equivalentes.

Es importante resaltar, que dado que en su estructura, el índice agroecológico incorpora los valores obtenidos de la estimación de alguno de los índices clásicos, este nuevo índice conserva todas las virtudes inherentes a estos índices. Sin embargo, el nuevo índice incorpora información no disponible mediante la aplicación de los índices clásicos. Como se ha mencionado, esta nueva información esta relacionada con las interacciones entre los componentes. En específico, se incorpora información relacionada con el número de interacciones presentes en el sistema y con el grado de redundancia que existe en estas relaciones.

El término *D* (densidad) en la estructura del índice, nos informa sobre el número de interacciones presentes. Esta es una medida básica cuando se esta interesado en conocer el grado de interconexión entre los elementos del sistema. Este término representa lo que podríamos llamar "riqueza de interacciones" y nos ofrece una medida del grado de cohesión que existe entre los componentes del sistema. Cuando se evalúa en series de tiempo, este componente nos permite valorar el desarrollo del predio en términos de integración entre los elementos.

En el caso de los ejemplos estudiados, podemos apreciar como el valor de la densidad (*D*) es superior en el Predio 2. Esto se debe, a que este predio presenta un mayor número de interacciones entre los componentes. La interpretación de esta medida es sencilla y nos ofrece una idea rápida de cómo se encuentra el sistema en términos de integración. En este caso, podemos apreciar con sólo conocer su valor, que en el Predio 2 existen más interconexiones, esto sin necesidad de evaluar visualmente los grafos de los sistemas.

El término *C* (coeficiente de agrupamiento), es una medida de la presencia de bucles cortos dentro del sistema, por lo tanto es una medida del grado de redundancia existente. Esta redundancia esta expresada en términos de la presencia de diferentes rutas a través de las cuales dos elementos se pueden relacionar. Por ejemplo, en el caso del Predio 2, en la asociación maíz-frijol-calabaza, el maíz y el frijol interactúan directamente, pero dado que tanto el maíz como el frijol lo hacen con la calabaza, ambos cultivos (*i.e.*, maíz, frijol) también interactúan a través de la calabaza. Esto es conocido como una interacción indirecta. Estas interacciones de ordenes superiores, son las responsables de la ocurrencia de propiedades emergentes en el sistema, por lo tanto es de vital importancia para el agroecólogo disponer de una medida que permita estimar su presencia en el agroecosistema.

El coeficiente de agrupamiento nos ofrece información complementaria a la densidad. Dos predios pueden presentar valores iguales de densidad, pero diferentes valores de agrupamiento. En agroecología, no solo se esta interesado en evaluar la presencia de interacciones, también es importante evaluar la redundancia de estas interacciones. Estimación que nos permite hacer este componente del índice agroecológico.

El componente *C* del índice, también nos brinda una medida de la ocurrencia de bucles (ciclos) dentro del sistema. Estos bucles pueden servir como mecanismos internos de autorregulación y por lo tanto pueden estar relacionados con la homeostasis del sistema. Además, la presencia de estos bucles nos ofrece información sobre como se están cerrando los ciclos en el sistema.

Es interesante apreciar que para el caso del Predio 1, el componente *C* presenta un valor de 0. Esto se debe a que en este sistema no se presentan bucles. Por su parte, el Predio 2 presenta un valor de 0,25. Esto quiere decir que este sistema presenta un 25% de todos los bucles cortos posibles. Por lo tanto, esta medida nos ofrece información valiosa para evaluar la estructura funcional en un agroecosistema.

Los ejemplos evaluados aquí, representan simplificaciones irreales de cualquier situación agrícola. Inclusive en sistemas tan simples, el Índice Agroecológico muestra las ventajas que su implementación ofrece en términos de análisis y diagnostico. Sin embargo, la potencia real del índice se muestra cuando se evalúan sistemas mas complicados, en los cuales debido al gran numero de elementos, se hace imposible la interpretación visual del sistema como un todo. Esta aproximación holística al sistema, es lo que hace a este índice idóneo para la agroecología.

En este trabajo, nos hemos enfocado en el uso del índice en la estimación de la agrobiodiversidad. Sin embargo, puede ser correctamente utilizado para evaluar las relaciones entre los elementos (animados e inanimados) presentes en un predio agrícola. Por lo tanto, puede ser una herramienta útil para realizar diagnósticos sistémicos de unidades productivas. En este caso, las interacciones entre los elementos del sistema, pueden ser definidas de acuerdo al criterio del investigador, tal vez de una manera similar a la utilizada en la metodología MESMIS (Masera *et al.* 1999).

Conclusiones

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. La estructura del índice es sumamente sencilla y su cálculo se puede realizar directamente mediante el empleo de programas computacionales estándar de análisis de redes. Esta herra-

mienta, también puede ser fácilmente utilizada, en la evaluación de sistemas agrícolas más allá de la estimación de la agrobiodiversidad.

Agradecimientos

Deseo agradecer a Glenda Briceño, Dayaeth Alfonso y Raúl Alban por sus útiles comentarios sobre versiones anteriores de este trabajo. De igual manera, expreso mi agradecimiento a un árbitro anónimo por sus útiles sugerencias.

Referencias

- Altieri MA, Nicholls CI. 2000. Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable. México DF: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Batagelj V, Mrvar A. 2003. Pajek - Analysis and Visualization of Large Networks. En Graph Drawing Software (Jünger M, Mutzel P, eds.). Berlin: Springer, pp. 77-103.
- Borgatti SP, Everett MG, Freeman LC. 2002. Ucinet 6 for windows: software for social network analysis. Harvard: Analytic technologies.
- Capra F. 1998. La Trama de la Vida: Una Nueva Perspectiva de los Sistemas Vivos. Barcelona: Anagrama.
- Costa L Da F, Rodrigues F A, Travieso G, Boas P R V. 2007. Characterization of complex networks: a survey of measurements. *Advances in Physics*, v. 56, pp. 167-242.
- Clergue B, Amiaud B, Pervanchon F, Lasserre-Joulin F, Plantureux S. 2005. Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 25: 1-15.
- Gliessman S. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Boca Raton: Sleeping Bear/ Ann Arbor Press.
- Griffon D, Torrez-Alruiz MD. 2008. On the inherent instability of the monoculture. *Proceedings of the second scientific conference of the international society of organic agriculture research*. pp. 708-711.
- Griffon D. 2008a. Agricultura Orgánica: La trampa presente en la sustitución de insumos. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://desarrollo.ecoportal.net/content/view/full/80411> [con acceso el 3-5-2009]
- Griffon D. 2008b. Lo pequeño es hermoso: Una alternativa para la solución de la crisis agrícola. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://desarrollo.ecoportal.net/content/view/full/78989> > [con acceso el 3-5-2009]
- López D, López JA. 2003. Con la comida no se juega. Alternativas autogestionarias a la globalización capitalista. Madrid: Traficantes de sueños movimiento.
- Masera O, Astier M, López S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. México DF: GIRA- Mundi-prensa.
- Naredo JM, Campos P. 1980. Los balances energéticos y la agricultura española. *Agricultura y Sociedad*, 15: 163-255.
- Núñez M A. 2005. Bases científicas de la agricultura tropical sustentable. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: < http://www.inmotionmagazine.com/global/man_base.html > [con acceso el 3-5-2009]
- Odum E P, Sarmiento F O. 1998. *La Ecología: el puente entre ciencia y sociedad*. México DF: McGraw Hill Interamericana de México.
- Sole RV, Goodwin B. 2001. *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*. New York: Basic Books.
- Sole RV, Manrubia SC. 1996. *Orden y Caos en Sistemas Complejos*. Barcelona: Politec, UPC.