

ANÁLISIS DE SHE, UNA HERRAMIENTA PARA ESTUDIAR LA DIVERSIDAD DE MALEZA

SHE ANALYSIS, A TOOL TO STUDY THE WEED DIVERSITY

Francisco Perdomo R.¹, Heike Vibrans L.^{1*},
 Angélica Romero M.¹, J. Alfredo Domínguez V.² y
 Juan L. Medina P.²

¹ Programa en Botánica, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. C.P. 56230. Correo electrónico: heike@colpos.mx ²Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. C.P. 56230. Chapingo, Estado de México.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

La maleza es un componente de los agroecosistemas pobremente entendida y raramente estudiada por métodos ecológicos. El objetivo fue analizar la variabilidad espacial y temporal de la diversidad de malezas asociadas con la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), y diferenciar la riqueza y uniformidad como componentes de la diversidad. La fase de campo tuvo lugar en Tlaquiltenango, Morelos, México. Se seleccionaron 10 plantaciones de caña, ciclo plantilla 2003-2004, sometidos a diferentes sistemas de manejo. En parcelas fijas de 10 x 10 m se tomaron mensualmente (durante un ciclo) dos muestras de 1 m² donde se midió la riqueza y la densidad de arvenses. Estos datos se analizaron por medio del índice de Shannon, uniformidad de Buzas y Gibson, e integrados por medio del análisis SHE. La representación gráfica del análisis de SHE mostró una riqueza (ln(S)) y diversidad (H) alta en los meses de febrero, junio a agosto, octubre y enero. De forma general, cuando los valores de la riqueza S incrementan, la influencia de la uniformidad (E) se reduce, y viceversa. Como se esperaba, la diversidad de la comunidad de malezas es afectada por las labores de manejo del cultivo, pero el comportamiento de la diversidad es semejante a algunos tipos de vegetación herbácea natural.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., maleza, diversidad, labores de cultivo.

SUMMARY

Weeds are constant components of agroecosystems, but are poorly understood and rarely studied with ecological methods. The aim of this research was to study the spatial and temporal variability

in a diversity of weeds associated with sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), and the relative contribution of species to the diversity richness and evenness. This study was conducted in Tlaquiltenango, Morelos, Mexico. Ten first-year sugarcane plantations with different management systems were selected during the growing season 2003-2004. Within 10 x 10 m permanent quadrants, two plots of 1 m² were sampled monthly, and the species richness and density measured. These data were analyzed with the Shannon diversity index, with the Buzas and Gibson evenness index, and integrated by the SHE analysis. The graphical representation of the SHE analysis showed high richness (ln(S)) and diversity (H) in February, June to August, October and January. Generally, the influence of evenness (E) decreased as species richness (S) increased, and viceversa. As expected, the diversity of the weed communities is influenced by management, but it also behaves in a similar way as some types of natural vegetation.

Index word: *Saccharum officinarum* L., weed, diversity, cultural practices.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que la maleza reduce el rendimiento de un cultivo, su presencia contribuye a la estabilidad de los agroecosistemas. Por tal motivo se considera interesante aplicar métodos de análisis ecológicos a los sistemas agrícolas, con el fin de entender patrones como la distribución y abundancia de las especies de maleza, como lo han hecho Rodríguez *et al.* (1991), Boström y Fogelfors (2002 a, b). Los estudios ecológicos abren una nueva línea de investigación en el desarrollo de sistemas de manejo tendientes a buscar alternativas de control, que permitan obtener una buena producción agrícola sin menoscabo de los servicios ecológicos. Tomita *et al.* (2003) aseguran que el mejor uso y entendimiento de la diversidad de especies de maleza a nivel regional puede ser la clave para mantener la producción de los arrozales tradicionales de Tailandia.

La diversidad puede ser medida con el número de especies y su abundancia relativa; la combinación de estos componentes conlleva al denominado índice de diversidad (Magurran, 1988). La riqueza de especies (S) es el número de especies en una superficie conocida y la uniformidad (E) es la distribución proporcional de los individuos dentro de las especies, en dicha superficie.

Los patrones de diversidad están fundamentalmente ligados a la variabilidad espacial y temporal de las comunidades naturales. La comunidad de la maleza cambia en respuesta a filtros impuestos por la labranza, la rotación de cultivos y otras perturbaciones (Booth y Swanton, 2002). La composición florística está estrechamente correlacionada con las condiciones ambientales, prácticas de cultivo y riqueza florística del entorno; las características del hábitat son un factor importante que determina la presencia de especies en un sitio (Dauber *et al.*, 2003). En trabajos recientes se describe la aplicación de herbicidas en el punto óptimo como una estrategia para reducir aplicaciones (Bos-

trom y Fogelfors, 2002 a, b), así como el descanso de los terrenos agrícolas y su efecto en la recuperación o mantenimiento de la diversidad de especies de maleza en tiempo y espacio, Creach (Comunicación personal; Resumen)¹.

La contribución del estrato herbáceo a la diversidad total de los cultivos y el entendimiento de los patrones de diversidad de especies de maleza es limitado, particularmente en la variación espacial y temporal. El índice de diversidad de Shannon (H') es el más comúnmente usado y el único para el cual hay referencias bibliográficas para arvenses. Hyvönen y Salonen (2002) señalan valores de H' de 1.68 (en centeno, *Secale cereale* L.), 1.52 (avena, *Avena sativa* L., chícharos, *Pisum sativum* L.) y 1.89 (cebada, *Hordeum vulgare* L.). Arrozales de Tailandia de siembra directa bajo condiciones de humedad alta, media y baja, tuvieron valores de H' de 1.0, 1.2 y 1.4, mientras que la H' en arroz (*Oryza sativa* L.) transplantado bajo los mismos regímenes de humedad reportó valores de 0.9, 0.8 y 1.0, respectivamente (Tomita *et al.*, 2003). Por su parte, Kobayashi *et al.* (2003) en Japón señalan que el índice de diversidad en el cultivo de la soya (*Glycine max* (L.) Merr.) y cebada de invierno, fluctúa a través del ciclo de cultivo. El H' en labranza cero fue más alto y estable (0.3 a 1.7) que bajo labranza convencional (0 a 1.3). Small y McCarthy (2002), al estudiar los cambios en espacio y tiempo de la riqueza, diversidad y uniformidad del estrato herbáceo en dos sitios (ladera norte y sur) de un bosque de Ohio, encontraron que la riqueza y la diversidad H' son altas al inicio de la temporada, y tienden a reducirse al final del ciclo ($H'=1.58$ a 0.96 , norte; $H'=1.54$ a 1.31 , sur). La uniformidad fue baja al inicio y aumenta al final de la temporada ($E=0.717$ a 0.827 , norte; $E=0.710$ a 0.96 , sur). Ambas parcelas, norte y sur, presentaron cambios fenológicos durante la estación de crecimiento.

El análisis de SHE es una técnica que integra las contribuciones relativas de la riqueza y la uniformidad como estimadores de la diversidad de la comunidad. SHE resulta de la contribución relativa de la riqueza y de la uniformidad en el índice de diversidad [$H' = \ln(S) + \ln(E)$]. Tiene las siguientes características: (1) La diversidad máxima ocurre cuando todas las especies están igualmente distribuidas ($H'_{\text{Max}} = \ln(S)$), y (2) E está relacionada con H' por la ecuación $E = e^{H'}/S$. La ecuación $H' = \ln(S) + \ln(E)$ indica que la diversidad H' se encuentra en su valor máximo ($\ln(S)$), cuando el valor de desuniformi-

dad ($\ln(E)$) es pequeño debido a que $E \leq 1$ y $\ln(E)$ es ≤ 0 , en la muestra. Para una descripción más completa del análisis de SHE ver a Hayek y Buzas (1997).

El objetivo del presente estudio fue analizar la variabilidad espacial y temporal de la diversidad de especies de maleza asociadas al cultivo de la caña de azúcar y su partición en riqueza y uniformidad, por medio del análisis de SHE.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en la zona cañera del municipio de Tlaquiltenango, Mor., México, ubicada a $18^\circ 38' \text{ LN}$, $99^\circ 10' \text{ LW}$, a 910 msnm, con temperatura promedio de 24.5°C , precipitación promedio de 863 mm y clima Aw (INEGI, 2000). Las 10 plantaciones de caña de azúcar variedad 431, se sembraron en surcos de 1.2 m en enero del 2003 (ciclo plantillas 2003-2004), suelo arcilloso (Monmorillonita), y regadas mensualmente con agua del río Yautepec. En la agroindustria cañera se denomina plantilla a la caña que se cosecha durante el primer ciclo de cultivo, soca y resoca a los tallos a cosecharse durante el segundo y tercer ciclo, respectivamente.

Antecedentes del terreno

El suelo de las parcelas donde se sembraron la plantación P1 fue precedida por un cultivo de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban.), y las plantaciones P2, P3 y P4 por arroz. El suelo donde se sembraron las plantaciones P5 a P10 se mantuvo en descanso durante todo un año y se dejó crecer libremente la maleza y se incorporó al suelo por medio de barbechos.

Manejo del cultivo

Las plantillas P1, P2, P3, P4, P6, P7 y P9 se fertilizaron con la dosis de fertilizante 180N-460P-00K, la mitad en marzo y el resto en el aporque de mayo. En las plantillas P5 y P10 se usó la dosis de fertilizante 90N-230P-00K, en una sola aplicación. En P5 se aplicó en mayo al momento del aporque y en P10 en marzo. Sólo la plantilla P8 fue fertilizada en agosto con la dosis 180N-45P-30K.

Control de malezas

En las plantillas P1 y P2, el control de maleza se efectuó manualmente y mediante escardas con tracción animal. En las plantillas P3, P4 y P5 se usó el control químico, roza manual y escarda con tracción animal. En marzo se asperjó con 612 g ha^{-1} de Ametrina (2-(etilamina-4-

¹ Creach I, J C L Pérez, C D J Crespo y L Suárez (2001) Influencia de cultivos antecedentes a la caña de azúcar sobre la incidencia de malezas. In: Resúmenes del II Encuentro Nacional de Ciencia de Maleza. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba. pp:34-36.

isopropilamino-6-metiltio 1,3,5-triazina) + 325 g ha⁻¹ de 2,4-D (éster isobutílico del ácido 2,4-diclorofenoxiacético). La hierba sobreviviente al herbicida fue cortada a machete en mayo, antes del aporque. En P5 se aplicaron en abril 400 g ha⁻¹ de 2,4-D. Las plantillas P6 y P7 fueron controladas con herbicida y con deshierbe manual y con escarda con tracción animal; en marzo se asperjaron 612 g ha⁻¹ Ametrina + 325 g ha⁻¹ de 2,4-D. Los pastos sobrevivientes fueron eliminados con pala en abril. En P6 se efectuó en junio una aspersión dirigida de 400 g ha⁻¹ de 2,4-D a las enredaderas, principalmente del género *Ipomoea*. En la plantilla P8 se empleó el control químico y manual. En marzo se asperjaron 300 g ha⁻¹ de 2, 4-D, seguido de una roza a machete en mayo. En la plantilla P10 la maleza fue controlada químicamente con 300 g ha⁻¹ de 2,4-D, asperjados en marzo y una segunda aspersión en mayo de 400 g ha⁻¹ de 2,4-D. Por último, en P9 las arvenses fueron controladas con herbicida y yunta, y el agricultor asperjó en abril 1.44 kg ha⁻¹ de Metanoarsonato monosódico (MSMA).

Toma de muestras

En cada predio se estableció una parcela experimental fija de 10 x 10 m, como lo recomiendan Rodríguez *et al.* (1991) para estudios de arvenses en caña de azúcar. Durante un ciclo de cultivo, en cada parcela experimental se determinó mensualmente la densidad por especie de maleza. Las diferentes malezas fueron colectadas e identificadas con claves especializadas (2 a 3 ejemplares por especie) y se depositaron en el Herbario Hortorio del Colegio de Postgraduados.

Patrones de diversidad espacial y temporal

Los patrones de diversidad se calcularon con base en la riqueza de especies de maleza observada (S = número de especies por muestra; N = densidad o número de individuos por especie). Se calculó el índice de Shannon ($H' = -\sum p_i \cdot \ln(p_i)$), donde: p_i es la proporción de todos los individuos de la i ésima especie en la muestra, $\ln(p_i)$ es el logaritmo natural de p_i ; $\exp(H')$ es el valor transformado del índice de Shannon (Magurran, 1988) y la uniformidad de Buzas y Gibson ($E = e^{H'}/S$; abundancia proporcional por especie en cada muestra) (Hayek y Buzas, 1997). Los datos fueron integrados por medio del análisis de SHE (SHE: S = riqueza, H' = diversidad, E = uniformidad) (Hayek y Buzas, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 79 especies, pertenecientes a 19 familias botánicas; entre las más importantes se encuentran las

familias Poaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae y Fabaceae. *Euphorbia* (= *Chamaesyce*) *berteriana* y *Leptochloa filiformis* presentaron el mayor grado de cobertura y el mayor número de individuos/m².

La gráfica del análisis de SHE mostró mayor riqueza ($\ln(S)$) y diversidad H durante los meses de febrero, junio y diciembre para el promedio de 10 (Figura 1C). Para la plantilla, con muy pobre control de malezas, los valores más altos de riqueza y diversidad se observaron en febrero, junio, agosto, octubre y enero (Figura 1B); mientras que en plantilla, con muy buen control de maleza, se manifestó en los meses de febrero, junio, agosto y diciembre (Figura 1A). Estos resultados son consecuencia de una riqueza alta (curvas altas de $\ln(S)$), más que por la uniformidad. En el mismo gráfico se aprecian depresiones de la diversidad H en los meses de abril, junio y diciembre (P8); abril, julio y noviembre (P6 y X). Los valores altos de H' observados en estos meses se deben a una fuerte dominancia y apreciable participación de H_{Max} . Para entenderlo se desglosaron tres de los valores más altos y más bajos de diversidad observada en P8. Al sustituir los valores en la ecuación de SHE se tiene para P8 en febrero una $E = e^{2.26}/16 = 0.5989$, si $H = \ln(16) + \ln(0.5989) = 2.7725 - 0.5126 = 2.2599$; mayo $E = e^{2.24}/13 = 0.7725$, entonces $H = \ln(13) + \ln(0.7725) = 2.5649 - 0.3189 = 2.246$, y para agosto se tiene $E = e^{2.1}/12 = 0.6805$. Luego entonces $H = \ln(12) + \ln(0.6805) = 2.4849 - 0.33849 = 2.1$. Al sustituir los valores de H más bajos observados durante el ciclo de desarrollo de la caña, para el mes de abril se obtiene una $E = e^{1.34}/14 = 0.2727$, si $H = \ln(14) + \ln(0.2727) = 2.639 - 1.2993 = 1.3397$; en septiembre se tiene una $E = e^{1.19}/13 = 0.2528$, entonces $H = \ln(13) + \ln(0.2528) = 2.5649 - 1.3751 = 1.1898$ y para diciembre $E = e^{0.81}/12 = 0.1873$, entonces $H = \ln(12) + \ln(0.1873) = 2.4849 - 1.675 = 0.8099$. De forma general, se aprecia que cuando los valores de S (riqueza) aumenta la uniformidad (E) se ve disminuida, y viceversa. El mismo comportamiento ha sido reportado anteriormente por Hayek y Buzas (1997) y Small y McCarthy (2002).

Las curvas del análisis de SHE (Figura 1) muestran diferencias debidas a la presencia de especies dominantes de maleza sobrevivientes a los tratamientos de control de las malezas, y a su distribución en espacio y tiempo a través del ciclo de cultivo de la caña de azúcar. Las parcelas acumularon rápidamente especies al inicio del ciclo, debido al estímulo de las labores de preparación del terreno de siembra, fertilización y riego. Las reducciones de H entre marzo a abril se deben al efecto de las labores de control de arvenses, mientras que de julio a enero se debieron a cambios en la dominancia de especies anuales y perennes. Estos cambios permitieron aumentos estacionales de H entre los meses de julio a enero. Finalmente, el análisis de

SHE indica que la distribución de las especies se mantuvo relativamente constante en las diferentes plantillas de caña estudiadas (Hayek y Buzas, 1997; Small y McCarthy, 2002).

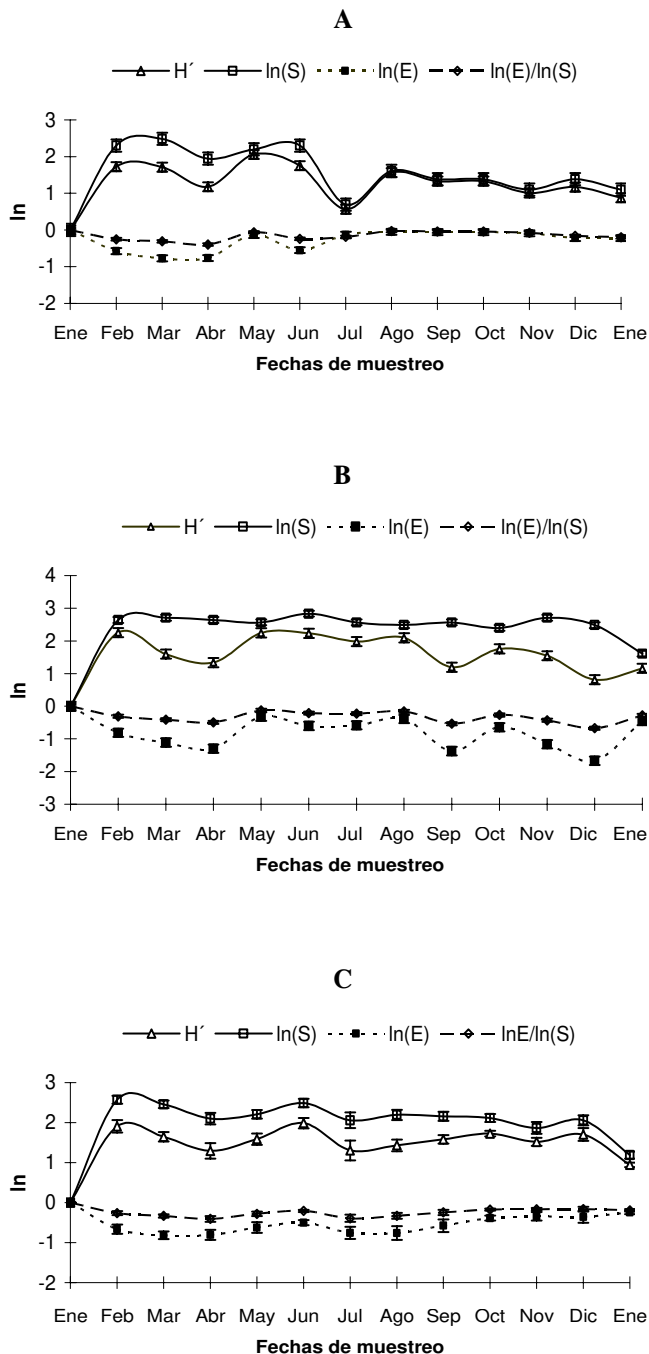


Figura 1. Resultados del análisis de SHE de la diversidad espacial y temporal de especies de maleza presentes en caña de azúcar. A: plantación con muy buen control; B: plantación con control pobre de malezas; y C: promedio de la diversidad en 10 plantaciones. El eje-y representa la diversidad de Shannon H' , el logaritmo natural de la riqueza ($\ln(S)$), uniformidad ($\ln(E)$) y la pro-

porción entre uniformidad/riqueza ($\ln(E)/\ln(S)$). Las barras verticales representan el error estándar de la media. (A y B: $n=12$, C: $n=10$).

CONCLUSIONES

El análisis de SHE mostró que la diversidad temporal y espacial de las comunidades de maleza está influenciada por las labores agrícolas; además responde en forma semejante a la vegetación herbácea en condiciones naturales, y en forma predecible. Igualmente, la baja variabilidad de la relación uniformidad/riqueza en el espacio y el tiempo indica que la diversidad de especies de maleza es de tipo log normal; el valor poco variante de H' señala una distribución de series logarítmicas. El comportamiento de las especies a lo largo del ciclo permite anticipar el mejor momento para la aplicación de programas de manejo de arvenses en caña de azúcar: el primero y quinto mes, o sea poco después de la siembra y antes del cierre del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

A los cañeros de la zona de Tlaquiltenango, Morelos, y a los jóvenes Vladimir y Francisco Perdomo de la Cruz, por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Booth D B, C J Swanton (2002) Assembly theory applied to weed communities. *Weed Sci.* 50: 2-13.
- Boström U, H Fogelfors (2002a) Response of weed and crop yield to herbicide dose decision-support guidelines. *Weed Sci.* 50: 186-195.
- Boström U, H Fogelfors (2002b) Long-term effects of herbicide-application strategies on weeds and yield in spring-sown cereals. *Weed Sci.* 50: 196-203.
- Dauber J, M Hirsch, D Simmerring, R Waldhardt, A Otte, Wolters V (2003) Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. *Agri. Ecosyst. Environ.* 98:321-329.
- Dekker J (1997) Weed diversity and management. *Weed Sci.* 45:357-363.
- Hayek C L, M A Buzas (1997) *Surveying Natural Populations*. Columbia University Press. New York, N.Y., USA. 563 p.
- Hyvönen T, J Salonen (2002) Weed diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels – a six-year experiment. *Plant Ecol.* 154:73-81.
- INEGI (2000) *Anuario Estadístico, Morelos*. Gobierno del Estado de Morelos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Cuernavaca, Morelos. México. pp:1-23.
- Kobayashi H, Y Nakamura, Y Watanabe (2003) Analysis of weed vegetation of no-tillage upland fields based on the multiplied dominance ratio. *Weed Biol. Manag.* 3:77-92.
- Magurran A E (1988) *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press. Princeton, N. J. 103 p.
- Rodríguez C C N, C J Díaz, R Villasana, P D Pérez, A M Romero (1991) Flora segetal cañera de la Provincia de Matanzas, Cuba. *Agrociencia S. Rec. Nat. Renov.* 1:123-136.
- Rodríguez C C N, A M Romero (1994) Flora vegetal de la provincia de Holguín, Cuba. *Biotam* 3: 39-50.

- Small C J, B C McCarthy (2002)** Spatial and temporal variability of herbaceous vegetation in an eastern deciduous forest. *Plant Ecol.* 164: 37-48.
- Tomita S, E Nawata, Y Kono, Y Nagata, C Noichana, A Sributta, T Inagura (2003)** Differences in weed vegetation in response to cultivating methods and water conditions in rainfed paddy fields in north-east Thailand. *Weed Biol. Manag.* 3:117-127.
- Gliessman S T (2002)** Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Ed. en español por: E Rodríguez, T Benjamín, L Rodríguez, A Cortés. LITOCA, Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Hernández X E, R A Ramos (1977)** Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional. *In: Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola.* Efraím Hernández X (ed). Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp: 321-334.
- Louette D, M Smale (1996)** Genetic Diversity and Maize Seed Management in a Traditional Mexican Community: Implications for *in situ* Conservation of Maize. NRG Paper 96-03. Mexico, D.F.: CIMMYT. 22 p.
- Ramos R A, X E Hernández (1985)** Reflexiones sobre el concepto de agroecosistema. *In: Xolocotzia. Revista de Geografía Agrícola.* Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp: 195-197.
- Thrupp L (1989)** Legitimizing local knowledge: from displacement to empowerment for Third World People. *Agriculture and human.* Values 6. pp:13-24.
- Toledo V M (1991)** El juego de la supervivencia. *In: CLADES (Consortio Latino Americano Sobre Agroecología y Desarrollo), Berkeley, C.A.* pp:3-44.