

## **CAMBIO DE LA SOSTENIBILIDAD BIOFÍSICA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS: TRES DÉCADAS DE REEMPLAZO DE PASTIZALES NATURALES POR AGRICULTURA**

Sergio Montico y Néstor Di Leo  
Manejo de Tierras - Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Rosario  
CC 14 S2125ZAA Zavalla - Santa Fe - Argentina  
e-mail: smontico@unr.edu.ar

### **RESUMEN**

Los pastizales naturales son biomas que contribuyen a la sostenibilidad biofísica de un territorio. Poseen la capacidad para atender la demanda de bienes y servicios ambientales para satisfacción de necesidades básicas de la sociedad. La expansión de la agricultura en la región pampeana en las últimas tres décadas, los ha reemplazado principalmente por el cultivo de soja. En este trabajo se aplicaron indicadores que valoraron la sostenibilidad biofísica en el territorio de dos cuencas rurales, como consecuencia de la disminución de la cobertura de los pastizales naturales en el período 1976-2005. Los indicadores aplicados resultaron buenos estimadores de la sostenibilidad biofísica en las dos cuencas de llanura. El reemplazo de los pastizales naturales por la actividad agrícola, ha incrementado la amenaza sobre la sostenibilidad local, por la disminución de la oferta de servicios ambientales y la exposición al riesgo de los ecosistemas naturales aun presentes en el territorio.

**Palabras clave:** sostenibilidad biofísica, pastizales naturales, agricultura, cuencas rurales

### **ABSTRACT**

The natural grasslands are biomas that contribute to the biophysical sustainability of a territory. They possess the capacity to assist the demand of environmental wealths and services for satisfaction of basic necessities of the society. The expansion of the agriculture in the pampean region in the last three decades, it has replaced them mainly for the cultivation of soybean. In this work indicators were applied that valued the biophysical sustainability in the territory of two rural basins, as consequence of the decrease of the covering of the natural grasslands in the period 1976-2005. The applied indicators were good estimadores of the biophysical sustainability in the two plain basins. The substitution of the natural grasslands for the agricultural activity, it has increased the threat on the local sustainability, for the decrease of the offer of environmental services and the exposition to the risk of the natural ecosystems even present in the territory.

**Keywords:** biophysical sustainability, natural grasslands, agriculture, rural basins

## INTRODUCCIÓN

Desde 1960 se ha producido en la región pampeana húmeda Argentina un proceso de agriculturización, principalmente, a expensas de la superficie dedicada a ganadería extensiva (Montico et al., 2006). Tan intensa resultó su manifestación, que en los últimos años se ha expandido hacia otras ecoregiones, especialmente a las Yungas, el Gran Chaco y el Espinal (Morello, 2005; Pengue, 2005) con múltiples externalidades.

A fines de la década del '90 del siglo pasado, los acontecimientos macroeconómicos estimularon la producción de bienes de exportación, al tiempo que se fue adoptando en gran escala la producción mecanizada de soja genéticamente modificada (15,1 M ha), tolerante a un herbicida de muy amplio espectro de control de malezas como el glifosato, disminuyendo simultáneamente la superficie de maíz, girasol y sorgo (Martínez, 2004).

En Argentina, se proyecta que el 17 % del crecimiento del área destinada a soja, tendrá lugar en las provincias tradicionalmente agrícolas de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Conforme a estos supuestos, es de esperar que la superficie de ese cultivo se incremente a 17,6 M ha en 2019/20 (WRI, 2003).

Este escenario instalado progresivamente en los últimos treinta años, ha influido en el estado de los ecosistemas pampeanos y en los servicios ambientales que ellos proporcionan, provocando la alteración de hábitats, cambios en biodiversidad, resistencia a productos fitosanitarios, alteración de los ciclos de nutrientes, modificaciones de las propiedades físico-químicas del suelo, y contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nutrientes y biocidas (Manuel-Navarrete et al., 2005).

Principalmente las praderas o pastizales naturales han sido los biomas más impactados durante aquel período, donde la flora y fauna se han visto alteradas por la actividad agraria (Bilenca, 2000).

Los pastizales naturales ocupan alrededor del 75 % de la superficie total del país (SECYT, 2004). De acuerdo con la UICN (2002), a nivel mundial, el bioma de praderas templadas sólo tiene un 0,69 % bajo protección, el menor de los 15 biomas terrestres existentes en el mundo, y la pampa Argentina cuenta con la menor protección, 0,08 % (Henwood, 2002).

La persistente alteración de la vegetación en las cuencas hidrográficas y el rápido retroceso de la frontera forestal en la última década están afectando la capacidad reguladora de muchas cuencas hídricas del país, generando intensos problemas de erosión y colmatación de embalses (Gallopín et al., 2001). Los ambientes con vegetación espontánea tienen una función muy importante, ya que suelen actuar como corredores que conectan los fragmentos que aun pudieran encontrarse en el paisaje (Bilenca, 2000).

Los pastizales naturales son biomas que contribuyen a la sostenibilidad biofísica (Becker et al., 2002). Son entidades naturales que poseen la capacidad para atender la demanda de bienes y servicios ambientales para satisfacción de necesidades básicas, soporte de procesos productivos y prevención de riesgos (Márquez, 2000).

La transformación de esta cobertura de vegetación es inversamente proporcional a su capacidad para cumplir sus funciones ecológicas. Es un indicador del estado del ambiente, pues su transformación cambia la biomasa, la abundancia de especies e individuos, los intercambios de materia y energía, y la capacidad del ambiente para mantener bienestar y desarrollo humano, al afectar la regularidad de los ciclos climáticos e hidrológicos, y la oferta de recursos demandados por la sociedad (Márquez, 2000).

Entre las herramientas disponibles para la valoración de la sostenibilidad biofísica en una región, los indicadores representan una alternativa posible. Los indicadores son medidas o parámetros que proveen información acerca del estado de un fenómeno, y cuyo significado va más allá del valor que se asocia de manera directa al parámetro (Winograd, 1995).

En Argentina, en ambientes de llanura donde predominan los pastizales naturales sobre otros biomas de mayor jerarquía, se ha producido un importante aumento de la agricultura (Bilenca, 2000). Resulta relevante conocer la incidencia de estos cambios en la transformación de los agroecosistemas, y con ello, las posibilidades de sustentabilidad territorial.

El objetivo de este trabajo es aplicar indicadores que valoren la sostenibilidad biofísica en el territorio de dos cuencas hidrográficas, como consecuencia de la disminución de la cobertura de los pastizales naturales por la expansión de la agricultura, principalmente sojera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el sur de la provincia de Santa Fe, Argentina, utilizando el SIG ENVI 4.0 se delimitaron las cuencas de los arroyos Saladillo y Ludueña (cuadrante, ESTE: 60° 36' 14.95'' E; OESTE: 61° 54' 37.13'' W; NORTE: 32° 45' 9.34'' N; SUR: 33° 36' 50.97'' S) de 321.609,90 ha y 80.114,38 ha, respectivamente (Figura 1).

Se determinó en ambas cuencas la cobertura por pastizales naturales en 1976 y 2005 mediante la utilización de las imágenes satelitales Landsat 1 MSS (26/02/1976) y Landsat 5 TM BM (25/10/2005) (Figuras 2a y 2b). Asimismo, se relevó información de la población rural y urbana de diez municipios y quince comunas ubicadas en las cuencas, a través de datos censales (IPEC, 2006).

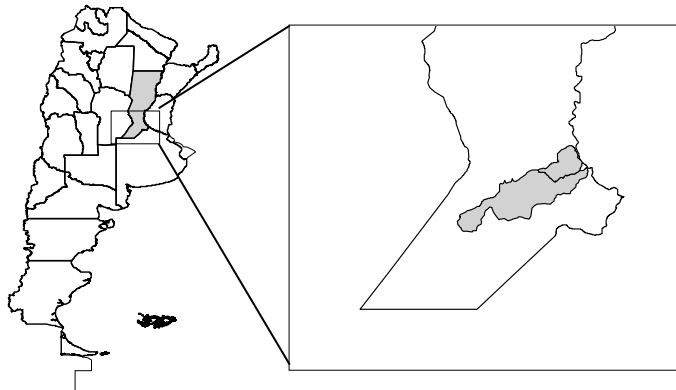


Figura 1. Ubicación de las cuencas de los arroyos Saladillo y Ludueña.

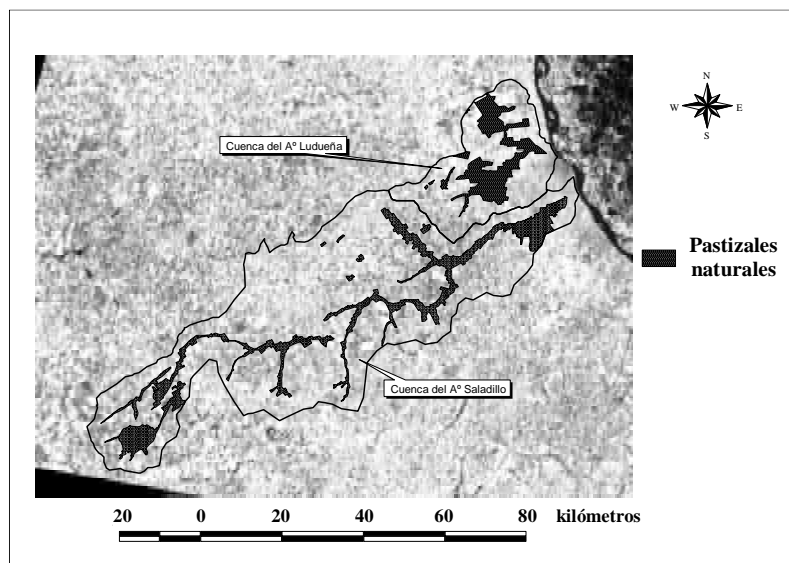


Figura 2a. Área ocupada por pastizales naturales en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo. Imagen Landsat 1, sensor MSS banda 4 (IRc). Año 1976.

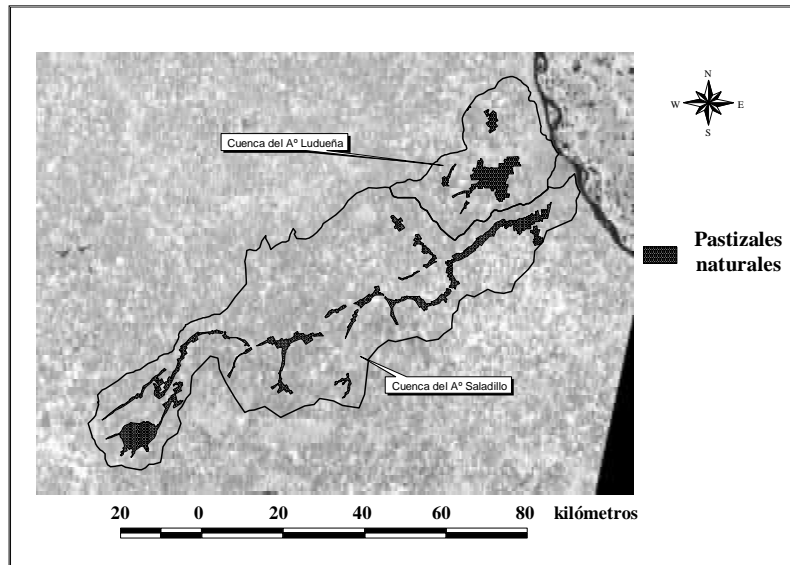


Figura 2b. Área ocupada por pastizales naturales en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo. Imagen Landsat 5, sensor TM banda 4 (IRc). Año 2005.

En cada cuenca se calculó:

a) El Índice de Vegetación Remanente (IVR), que expresa la cobertura de vegetación natural de un área como porcentaje del total de la misma:

$$IVR = (AVR/At) \cdot 100 \quad (1)$$

siendo, AVR el área de pastizal natural remanente y At el área total de la cuenca. Se consideraron cuatro categorías de transformación adaptadas por Márquez (2000):

- NT, no transformado,  $IVR > 70\%$ : Sostenibilidad Alta (SA).
- PT, parcialmente transformado,  $30\% < IVR < 70\%$ : Sostenibilidad Media (SM).
- MT, muy transformado,  $10\% < IVR < 30\%$ : Sostenibilidad Baja (SB).
- CT, completamente transformado,  $IVR < 10\%$ : Sostenibilidad improbable (NS).

b) El Índice de Presión Demográfica (IPD), valora las tasas de incremento en la densidad de población

humana, según Winograd (1995):

$$IPD = DP_{1976} \cdot r \quad (2)$$

siendo,  $DP_{1976}$  la densidad poblacional en 1976 (población por 100 ha), y r es la tasa de incremento poblacional en el período intercensal 1976 - 2005. Los valores del IPD propuestos por Márquez (2000) son:

- $IPD < 1$ : la unidad expulsa población. La sostenibilidad podría mantenerse o recuperarse.
- $1 < IPD < 10$ : población y amenazas crecientes, pero normales. Sostenibilidad media.
- $10 < IPD < 100$ : crecimiento acelerado de la población. Sostenibilidad amenazada.
- $IPD > 100$ : crecimiento excesivo. Grave amenaza a la sostenibilidad.

c) De la combinación del IVR con el IPD, se generó el Índice de Criticidad Ambiental ICA. En la siguiente matriz (Tabla 1) se presenta el esquema de valoración propuesto por Márquez (2000):

**Tabla 1. Categorías de Índice de Criticidad Ambiental a partir de los IVR y IPD**

IVR	IPD < 1	1 < IPD < 10	10 < IPD < 100	IPD > 100
NT	I	I	II	II
PT	I	I	II	II
MT	III	III	IV	IV
CT	III	III	IV	V

- I: Relativamente Estable o Relativamente Intacto; conservado y sin amenazas inminentes.

- II: Vulnerable. Conservación aceptable y/o amenazas moderadas. Sostenible en el mediano plazo, en especial con medidas de protección.

- III: En peligro. Baja conservación y/o presiones fuertes. Sostenibilidad con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos 15 años.

- IV: Crítico. Conservación baja y presiones fuertes. Pocas probabilidades de sostenibilidad en los próximos 10 años.

- V: Muy crítico (Extinto). Sostenibilidad improbable; transformación radical y presiones muy elevadas.

d) El Índice Huella Ecológica propuesto por Rees (1996) que valora el área del territorio requerido por un habitante para satisfacer sus necesidades, siendo:

$$IHE = At/P \quad (3)$$

donde, At es el área total de la cuenca (ha), y P su población en número de habitantes. El resultado se interpreta por comparación con las categorías propuestas por Rees (1996).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coincidiendo con lo estudiado por Krapovickas y Di Giacomo (1998) en la región pampeana Argentina, se destaca que la superficie con pastizales naturales ha sido transformada casi con exclusividad por la agricultura, y dentro de este tipo de uso, mayoritariamente, por el cultivo de soja, debido a la capacidad que posee para la obtención de una producción física rentable en ambientes de baja aptitud agrícola o ganadera (Dross, 2004).

Así, en la Tabla 2 se presentan los datos de superficie cubierta por pastizales naturales y agricultura en ambas cuencas, advirtiéndose una intensa modificación del área no intervenida entre 1976 y 2005.

**Tabla 2. Superficie ocupada por pastizales naturales y agricultura en 1976 y 2005 en las cuenca del A° Saladillo y A° Ludueña**

Cuenca	Año 1976		Año 2005		Total
	Pastizal natural	Agricultura	Pastizal natural	Agricultura	
Superficie (ha)					
A° Saladillo	39.534,3	282.074,7	25.894,9	295.715,0	321.609,0
A° Ludueña	18.452,7	61.661,7	8.165,8	71.948,6	80.114,4

En la cuenca del arroyo Saladillo, en 1976, la agricultura representaba el 87,7 % de la superficie total, y en la del arroyo Ludueña, el 76,9 %. En 2006, en la primera, esta superficie aumentó a 91,9 % (13.640,3 ha) y en la segunda a 89,8 % (10.286,9 ha), coincidiendo con el cambio de paradigma productivo que se fue instalando en la región, más específicamente, desde fines de la década del '80 a la actualidad (Montico et al., 2006).

Concurrentemente, en 2005 la superficie con pastizales naturales es el 44,2 % y 65,5 % de la

presente en 1976, en las cuenca de los arroyos Ludueña y Saladillo, respectivamente.

En el período analizado, la cobertura con pastizales naturales disminuyó, en relación a la superficie total, más en la cuenca del arroyo Ludueña (-12,84 %) que en la del arroyo Saladillo (-4,24 %) (Tabla 3), mostrando una severa intervención antrópica. De acuerdo al IVR, ambos territorios están muy transformados a completamente transformados, por lo que son de baja sostenibilidad (A° Ludueña) o de sostenibilidad improbable (A° Saladillo).

**Tabla 3. Valores de IVR en 1976 y 2005 en las cuencas del A° Saladillo y A° Ludueña.**

Cuenca	IVR 1976	IVR 2005
A° Saladillo	12,29 %	8,10 %
A° Ludueña	23,03 %	10,19 %

El índice de presión demográfica estima las amenazas a la biodiversidad y conservación del área por aumento de la densidad poblacional (Tabla 4). La cuenca del arroyo Ludueña posee 49,5 % más IPD que la del Saladillo, indicando una tendencia a la mayor demanda ambiental y presión sobre los ecosistemas y funciones, tal como lo plantea Meister (2001) en sistemas naturales antropizados. Según la valoración del IPD ambas cuencas presentan una amenaza del crecimiento poblacional sin que ello signifique en el corto plazo un riesgo para la sostenibilidad.

**Tabla 4. Valores de IPD, IHE y categoría de ICA en 2006 en las cuencas del A° Saladillo y A° Ludueña**

Cuenca	IPD 2005	ICA 2005	IHE 2005
A° Saladillo	2,89	III	1,89
A° Ludueña	4,32	III	1,21

El ICA representa una relación estado/presión donde la interacción entre la transformación de los biomas y la presión demográfica definen la condición de criticidad del ambiente. Según la clasificación propuesta, y considerando la intervención sobre los pastizales naturales, el ambiente de ambas cuencas se encuentra en peligro, y la sostenibilidad con bajas probabilidades de persistencia.

La cuenca del arroyo Saladillo posee un IHE mayor (+ 35,9 %) que la del A° Ludueña, ambas debajo de valor 2,2 correspondiente actualmente a la Argentina, pero cercano en la primera al 1,8 a nivel mundial (Global Footprint Network, 2005).

De la comparación de los IHE entre 1976 y 2005, surge que en la cuenca de los arroyos Saladillo y Ludueña, hubo una disminución en las últimas tres décadas de 37,7 % y 54,4 %, respectivamente, indicando, como lo sostienen Ayres (2000) y Moffat (2000), que se avanza hacia una sobre utilización de los recursos naturales, por encima de la capacidad ecológica de la biosfera. Existe un déficit ecológico creciente, indicando por lo tanto, que se tiende a perder la autosuficiencia debido a que en el futuro será necesario apropiarse de más recursos de los que la capacidad de carga de ambas cuencas puede brindar, entonces, o se degrada el territorio o se apropia de recursos fuera de ella.

Del análisis conjunto de los indicadores utilizados, surge que la sostenibilidad biofísica de las cuencas estudiadas en los últimos treinta años, se encuentra seriamente amenazada, y lo estará más, de persistir el actual esquema de apropiación territorial (Montico y Pouey, 2001). A pesar de que ambas tienen una alta criticidad ambiental, la cuenca del arroyo Ludueña posee más riesgo, principalmente por el mayor cambio del índice verde y de la huella ecológica.

El avance de la agricultura sobre el principal bioma local en el período 1976-2005, ha transformado el territorio y alterado negativamente su capacidad para ofertar servicios ambientales. Coincidiendo con Sala y Paruelo (1997) se ha perdido el valor de parches o fragmentos del paisaje tanto como fuente de biodiversidad como de corredores biológicos. De manera simultánea, la reconocida capacidad que posee el cultivo de soja de adaptarse en la región a suelos de baja aptitud brindando producciones físicas rentables, tal como lo argumenta Martínez (2004), ha desplazado los límites entre la agricultura y los pastizales naturales, emplazando a estos últimos a sectores cada vez más reducidos.

En el territorio de las dos cuencas agrohidrológicas, tanto como en la región toda, se plantea un conflicto, que como también lo sostiene Solbrig (1999) es aun más profundo, y es el que se establece en la sociedad, entre la necesidad de alimentar a una población creciente y el de mantener lo más intacto posible los relictos de los ecosistemas naturales.

## CONCLUSIONES

Los indicadores aplicados resultaron buenos estimadores de la sostenibilidad biofísica en el territorio de las dos cuencas de llanura. En las últimas tres décadas el reemplazo de los pastizales naturales por la actividad agrícola, principalmente por el cultivo de soja, ha incrementado la amenaza sobre la sostenibilidad, por la disminución de la oferta de servicios ambientales y su impacto en la calidad ambiental.

## REFERENCIAS

- Ayres, R. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint. *Concept. Forum: the ecological footprint. Ecological Economics* 32: 347-349.

- Becker, J; da Cruz, J; Evia, G; Gudynas, G; Gutierrez, G; Scagliola, A. 2002. Sustentabilidad y Regionalismo en el Cono Sur. Coscoroba Ediciones, Montevideo, Uruguay.
- Bilenca, D. 2000. Los agroecosistemas y la conservación de la biodiversidad: El caso del pastizal pampeano. Gerencia Ambiental, N° 67:566.
- Dross, J M. 2004. Manejo del boom de la soya: Dos escenarios sobre la expansión de la producción de la soya en América del Sur. AIDEnvironment, 75 pp.
- Gallopín, G C; Funtowicz, S; O'Connor, M; Ravetz, J. 2001. Science for the 21st Century: from Social Contract to the Scientific Core. Int. Journal Social Science, 168: 219-229.
- Global Footprint Network. 2005. World Report. <http://www.footprintnetwork.org>.
- Henwood, W. 2002. Grassland Protected Areas Task Force. En IUCN Newsletter No 86, Issue 1: 4-5.
- IPEC. 2006. Instituto Provincial de Estadísticas y Censo de la provincia de Santa Fe. [www.ipec.gov.ar](http://www.ipec.gov.ar)
- Krapovickas, S.; Di Giacomo, A. 1998. Conservation of Pampas and Campos Grasslands in Argentina. Parks 8(3) 47-53.
- Manuel-Navarrete, D; Gallopín, G; Blanco, M; Díaz-Zorita, M; Ferraro, D; Herzer, H; Latorra, P; Morello; Murmis, M R; Pengue, W; Piñeiro, M; Podestá, G; Satorre, E H; Torrent, M; Torres, F; Viglizzo, E; Caputo, M G; Celis, M A. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. CEPAL, Chile.
- Márquez, G. 2000. Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. Gestión y ambiente 5: 33-49. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Martínez, F. 2004. Soja en la región pampeana. IDIA XXI. p 29- 32.
- Meister, A. D. 2001. Dilemma: increase in human food production or use of grasslands for environmental and/or social purposes. XIX International Grassland Congress. San Pablo, Brasil.
- Moffatt, I. 2000. Ecological footprints and sustainable development. Ecological Economics 32 (3), 359-362.
- Montico, S; Pouey, N. 2001. Cuencas Rurales. Pautas y criterios para su ordenamiento. Ed UNR. 167 p. Argentina.
- Montico, S; Martín, B; Zerpa, G; Sosa, O. 2006. Balance de agua edáfica y productividad primaria en un pastizal natural. UNLaR. 7 (2): 5-9.
- Morello, J. 2005. Entrando al Chaco con y sin el consentimiento de la Naturaleza, Vida Silvestre, vol. 92.
- Pengue, W. 2005. Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina, México DF, UACMA.
- Rees, W E. 1996. Indicadores territoriales de sustentabilidad. Ecología Política 12: 27 - 41.
- Sala, O E.; Paruelo, J M. 1997. Ecosystem services in grasslands. Páginas 237-251 En: Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems (ed. G. Daily). Island Press, Washington DC.
- SECYT. 2004. La sostenibilidad ambiental del desarrollo en argentina: tres futuros. Documento de trabajo n° 7. 65 pp. Argentina.
- Solbrig, O T. 1999. Observaciones sobre biodiversidad y desarrollo agrícola. Páginas 29-39 En: Mateucci, SD, OT Solbrig, J Morello y G Halffter (editores). Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. Eudeba, Buenos Aires.
- UICN. 2002. Las áreas Naturales Protegidas de la Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- Winograd, M. 1995. Indicadores Ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. Documento IICA/GTZ/OEA/WRI. IICA, 85p.
- WRI. 2003. Earth Trends 2003 Argentina Country Report (Tendencias del planeta informe de país de Argentina). Washington.

*Artículo recibido el 09/2006 y aprobado para su publicación el 08/2007*