

VALORACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE LABRANZA: ESTUDIO DE CASO EN EL SO BONAERENSE

Pesce, G.¹, Scoponi, L.¹, Galantini, J.², Durán, R.¹, Sánchez, M.¹, De Batista, M.¹, Chimeno, P.², Cordisco, M.¹, Oliveras, G.^{1,3}, Merino, L.², Gzain, M.¹

¹Departamento de Ciencias de la Administración, Universidad Nacional del Sur, 12 de Octubre 1198. Bahía Blanca, CP 8000, Argentina.

²Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). CERZOS y Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Altos del Palihue. Bahía Blanca, CP 8000, Argentina

³Universidad Provincial del Sudoeste, Alvarado 328, Bahía Blanca, CP 8000, Argentina.

RESUMEN: El objetivo del trabajo es valorar la sustentabilidad a escala predial de sistemas de laboreo alternativos: siembra directa versus laboreo convencional, incorporando la cuantificación económica de impactos ambientales sobre la calidad del suelo. El análisis se desarrolla en un caso de estudio del sudoeste bonaerense, para el período 1986-2008. Se calcularon costos y beneficios ambientales a partir del balance de nutrientes por el método del costo de reposición; y se valoraron los servicios ambientales de ambas técnicas mediante la función de producción ajustada, atendiendo sus rendimientos físicos. Finalmente se realizó un análisis multicriterio con indicadores representativos de las dimensiones de la sustentabilidad (ecológica, económica y social) de modo de comparar con una visión sistémica e integral los sistemas de labranza. Se concluye que la siembra directa presenta un mejor desempeño desde las perspectivas estudiadas. Asimismo, la valoración de la sustentabilidad por su complejidad, requiere un tratamiento interdisciplinario y no se agota en la aplicación de un solo método.

PALABRAS CLAVE: costos y beneficios ambientales, siembra directa, sustentabilidad.

INTRODUCCION

Desde el punto de vista agropecuario, la sustentabilidad está relacionada con la capacidad productiva (agronómica y económica) del agroecosistema, la preservación de los recursos naturales involucrados y la aceptabilidad social de las prácticas aplicadas, siendo el suelo el recurso más sensible. Su manejo sustentable impone indagar los procesos que se dan en él, a raíz del empleo de diferentes tecnologías, de modo de identificar aquellas que impliquen un uso conservacionista. En este sentido, diferentes investigaciones han encontrado que la frecuencia e intensidad de las labranzas alteran las propiedades del suelo, la distribución de la MO (materia orgánica) y de los nutrientes de la profundidad laboreada (Balesdent *et al.*, 2000; Franzlembers, 2002). Particularmente, el cambio de un sistema con labranzas (LC) a siembra directa (SD) produce una serie de modificaciones en el suelo que pueden ser caracterizadas por distintas etapas, llegando a estabilizarse luego de 20 años (Moraes Sa, 2003). A pesar de haberse iniciado la SD en Argentina en la década del '70, existen pocos estudios comparativos que tengan antigüedad suficiente para evaluar sus efectos de largo plazo, como los efectuados en el establecimiento "Hogar Funke" (Tornquist, provincia de Buenos Aires) que ha mantenido parte de un lote con la misma secuencia de cultivos bajo SD y LC desde el año 1986. Por lo tanto, el presente estudio persigue complementar las investigaciones agronómicas sobre los cambios ocurridos en la calidad del suelo en ese sitio, con la aplicación de enfoques y metodologías de valoración de las Ciencias Sociales, como la Economía y la Administración. Desde la Economía, los aportes de la Economía Ambiental (EA) plantean diferentes métodos para internalizar los costos ambientales en la ecuación económica. No obstante, presenta críticas relacionadas con la no consideración del funcionamiento integral de los ecosistemas. Frente a estas limitaciones, la Economía Ecológica (EE) surge como otra corriente que pretende adoptar una interpretación sistémica y holística de la problemática de la sustentabilidad. Algunos autores no sólo niegan a la utilización de los métodos de valoración monetarios, sino que plantean el concepto de

inconmensurabilidad de valores (Kapp, 1970), es decir, la imposibilidad de encontrar una unidad común de medida para la comparación. Es bajo este último enfoque donde aparecen otros métodos, tales como aquellos basados en indicadores y métodos multicriteriales. Por otra parte, los indicadores son las medidas de desempeño utilizadas por la disciplina administrativa para valorar el compromiso y los progresos de las empresas en el ejercicio de su responsabilidad social para el desarrollo sustentable (Ethos, 2011; GRI, 2011). El trabajo comprende entonces varios estudios. En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos bajo un análisis económico tradicional, incorporando los costos y beneficios ambientales, para finalmente efectuar una valoración mediante un análisis multicriterio que emplea indicadores representativos de las tres dimensiones de la sustentabilidad (ecológica, económica y social) de modo de realizar una comparación integral entre los sistemas de labranza a una escala predial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó como caso de estudio el establecimiento “Hogar Funke” (Tornquist, Buenos Aires, Argentina). Detalles de sitio, manejo, y otras explicaciones metodológicas se encuentran en Kleine & Puricelli (2001) y Galantini *et al.* (2006). El período de análisis abarcó las campañas 1986/1987 a 2005/2006. La metodología aplicada comprendió:

a) Balance de nutrientes: se calculó la extracción total de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y algunos meso y micro nutrientes, por cultivo y por año, para SD y LC, utilizando valores recopilados por INPOFOS Cono Sur (Ciampitti & García, 2007). Asimismo, se consideraron las entradas de nutrientes a partir de fertilizantes aplicados en el período estudiado. De esta manera, el balance se expresó en $\text{kg. Ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

b) Determinación de rendimientos físicos: se realizó por cosecha mecánica y pesada directa en balanzas convencionales.

c) Valoración económica de los impactos sobre el capital natural y productividad del sistema:

c.1) Método del costo de reposición. Consiste en determinar los costos de abatir el daño ambiental causado por la contaminación, reemplazar los atributos ambientales dañados por otros equivalentes, o restaurar un medio dañado a su estado original (Abad, 1996). Se computó el costo de los fertilizantes necesarios para la reposición a partir del balance de nutrientes, incluyendo el costo de la labor.

c.2) Método de la función de producción. Permite estimar el valor de un beneficio o daño ambiental, basado en la variación de la productividad de un ecosistema (Azqueta Oyarzun, 1994). Dadas las limitaciones encontradas para este método, el modelo se ajustó mediante un análisis econométrico.

d) Cálculo de la contribución marginal: se estimó aplicando el Análisis Costo-Volumen-Utilidad, bajo el modelo de Costeo Variable. Para la determinación de los costos ambientales a incorporar en la ecuación económica, se optó por la aplicación del método del costo de reposición, dadas las limitaciones encontradas en el método de la función de producción.

e) Representación del problema mediante métodos multicriterio. Se optó por aplicar el método de toma de decisiones Proceso Jerárquico Analítico (AHP) (Saaty, 1997). Su modelado y solución se realizó utilizando el software Expert Choice 11, 1, 3805. El AHP permite estructurar un problema en un modelo jerárquico que contiene tres niveles: a) el nodo raíz de la jerarquía representa el objetivo global; b) los niveles siguientes constituyen los criterios a evaluar para priorizar a las alternativas (pueden estructurarse en subcriterios); y c) los nodos del último nivel representan a cada una de las alternativas. Para las comparaciones y síntesis, las prioridades se derivaron en primer término de datos crudos (Forman & Selly, 2001) y luego, de juicios de expertos de distintos sectores: académico, público y privado. Para el relevamiento se preparó un cuestionario cerrado con escalas cualitativas de ponderación. Se contemplaron como criterios las tres dimensiones que involucra el concepto de sustentabilidad y como subcriterios, los atributos definidos por Smyth & Dumanski (1995). Estos se representaron mediante indicadores, estableciendo para cada uno, si conlleva un objetivo de maximización o de minimización (Falcón & Burbano, 2004). Los

indicadores se seleccionaron a partir de revisión bibliográfica e investigaciones sobre el problema bajo estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis económico incorporando costos ambientales

Respecto a los promedios históricos de las contribuciones marginales por hectárea y su variabilidad, la SD ha tenido mejor comportamiento que LC en cuanto a: la media de las contribuciones marginales, tanto sin como con costos ambientales, para todos los cultivos; la estabilidad de las contribuciones marginales antes y después de contabilizar los costos ambientales; incluso en los promedios y variabilidades de las contribuciones marginales con limitaciones en la masa financiera. Esto último se explica por la conjunción de mayores rendimientos en SD y por una escasa diferencia de costos entre sistemas para el caso en estudio. Se observa una mayor capacidad económica de la SD para afrontar la reposición de nutrientes, aún cuando resultan superiores los costos ambientales que reflejan los impactos en las propiedades químicas del suelo, según se expone a continuación.

Método del costo de reposición

De acuerdo al método del costo de reposición, se observó que la SD tiene un desempeño menos favorable que la LC en la mayoría de las campañas analizadas, explicado por su mayor extracción consecuencia de un mayor rendimiento físico de los cultivos. Asimismo se valoraron las pérdidas por erosión. Se utilizó la diferencia de profundidad en la masa de suelo del horizonte A, que originalmente debió ser idéntica. La LC produjo una pérdida adicional de suelo equivalente a 11,7 t. Ha.⁻¹ año⁻¹ que, en términos de N y P, representó 33 kg. Ha.⁻¹ año⁻¹ y 9,38 kg. Ha.⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Galantini *et al.*, 2007). Sólo cuantificando estos efectos por el método del costo de reposición, surge un mayor costo ambiental para LC de \$ 391 Ha.⁻¹ año⁻¹, que en el supuesto de internalizarse en el cómputo de la contribución marginal, la torna negativa al adicionarse al efecto de la extracción de nutrientes por el cultivo.

Método de la función de producción

Siguiendo este método, se observó una disposición creciente de los costos ambientales de LC respecto a SD; aunque la serie de costos ambientales estimados presenta una alta variabilidad. Se considera que, aún cuando el método permite cuantificar indirectamente los costos ambientales, su magnitud no es reflejada fielmente, dada la influencia de otras variables que afectan el rendimiento del sistema. Frente a ello se avanzó en un ajuste de la función de producción mediante un análisis econométrico² que persigue aislar la incidencia de las precipitaciones a través de un índice de lluvias³, las heladas durante períodos críticos, el nivel de nitrógeno y el tipo de cultivo, con el fin de determinar efectos de las propiedades edáficas en el rendimiento. Mediante los resultados obtenidos de la regresión y proyectando diferentes escenarios que combinan niveles máximos, medios y mínimos para las variables del índice de lluvias y el nivel de nitrógeno en el suelo⁴, surge un mejor desempeño promedio del sistema de SD respecto a LC (Figura 1). La mejor performance de la SD se acentúa especialmente ante

² Regresión fusionada por mínimos cuadrados ordinarios para una muestra de 442 observaciones, con ajuste de White por heteroscedasticidad.

³ El índice de lluvias es creado para medir las precipitaciones de acuerdo a la importancia relativa de las mismas por su momento de ocurrencia. En él, se compara mensualmente, a través de un cociente, las precipitaciones reales respecto a la necesidad hídrica para cada tipo de cultivo. Luego se suman los cocientes de cada mes ponderados por un factor de importancia de ese mes en el ciclo de desarrollo del cultivo. Se da este tratamiento a la variable de las precipitaciones para considerar la importancia relativa de los milímetros de agua que obtiene el cultivo según la época del año y su etapa del ciclo de desarrollo.

⁴ En los escenarios se establecen combinaciones entre el nivel máximo, medio y mínimo para el índice de lluvias (Llc^+ ; Llc^{prom} y Llc^- respectivamente) y el nivel máximo, medio y mínimo para el nivel de nitrógeno (N^+ , N^{prom} y N^- respectivamente) para cada conjunto de cultivos.

escenarios de bajos niveles de nitrógeno y bajas precipitaciones, lo cual resulta significativo para la región del sudoeste bonaerense por su alta variabilidad climática.

Figura 1. Rendimientos y valores diferenciales del sistema SD respecto a LC.

Cultivos	Escenarios	A Rendimiento (kg ha ⁻¹)	A Ingresos + A Costos (\$ ha ⁻¹)	Flujo de fondos (\$ ha ⁻¹)	Valor a perpetuidad (\$ ha ⁻¹)
Trigo/ Cebada	II ⁺ ; III ⁺	-1352,14	-677,05	-440,08	-8801,63
	II ⁻ ; III ⁺	-1211,89	-606,1	-393,96	-7879,29
	II ⁺ ; III ⁻ ; IV ⁺ ; V ⁺	400,72	209,66	136,28	2725,63
	II ⁺ ; III ⁻	895,46	459,94	298,96	5979,2
	II ⁺ ; III ⁻	1035,72	530,89	345,08	6901,54
Maíz	II ⁺ ; III ⁺	-875,21	-263,65	-171,37	-3427,41
	II ⁻ ; III ⁺	-809,74	-236,01	-153,4	-3068,09
	II ⁺ ; III ⁻ ; IV ⁺ ; V ⁺	316,55	239,55	155,71	3114,11
	II ⁺ ; III ⁻	980,59	519,92	337,95	6758,97
	II ⁺ ; III ⁻	1046,05	547,56	355,91	7118,29
Girasol/ Soja	II ⁺ ; III ⁺	-751,81	-796,57	-517,77	-10355,35
	II ⁻ ; III ⁺	-663,96	-694,16	-451,21	-9024,12
	II ⁺ ; III ⁻ ; IV ⁺ ; V ⁺	845,42	1065,33	692,47	13849,32
	II ⁺ ; III ⁻	970,55	1211,19	787,27	15745,47
	II ⁺ ; III ⁻	1058,39	1313,59	853,83	17076,69

Análisis multicriterio a partir de indicadores de sustentabilidad

En la Figura 2 se presentan los criterios, subcriterios e indicadores de sustentabilidad de la modelización del problema.

Figura 2. Criterios, subcriterios e indicadores de sustentabilidad.

Criterios	Subcriterios	Indicadores
Económico	Rendimiento Físico	Productividad
	Resultados monetarios	Contribución marginal (CM) después de CA
		CM después de CA con limitación en la masa financiera
		Costos ambientales por reposición nutrientes (CA)
	Estabilidad	Coefficiente de variación de la productividad
	Coefficiente de variación de Costos ambientales (CA)	
Ecológico	Suelo- Propiedades Físicas	Densidad aparente
		Dif.de erosión por sistemas de labranza (Masa de suelo actual versus original)
		Profundidad del Horizonte "A"
	Suelo – Propiedades Químicas	MO particulada (MOP) /MO total (MOT)
		Relación carbono-nitrógeno (materia orgánica total)
		Po (fósforo orgánico)/ Pi (fósforo inorgánico)
		Pe (fósforo extraíble)
		Estratificación de MO: MOT (0-5)/MOT(0-20)
		pH
	Ambiental (varios)	Materia Orgánica / Textura
		Aporte Carbono Kg/Ha. / COT Kg. Ha
		Riesgo de contaminación por plaguicidas (indicador 7 Viglizzo)
Eficiencia en el uso del agua		
Social	Empleo	Horas hombre mano de obra
	Gestión ambiental	Posibilidad de certificar BPA
		Consumo de combustible
	Autogestión	Dependencia de insumos externos (paquete tecnológico)
	Gestión del conocimiento del sistema	Nivel de cualificación
		Trabajo en red
Riesgo en la capacidad de gestión		

En el caso inicial, a todos los criterios se les asignó la misma preferencia. Los subcriterios asociados se consideraron con igual importancia o peso relativo. Los resultados indican que la SD contribuye en mayor medida al cumplimiento del objetivo de maximizar la sustentabilidad, con un puntaje de 0,586; mientras que la LC asume 0,414. A partir de los resultados del procesamiento de las opiniones de expertos, se establecieron las nuevas ponderaciones para los criterios y subcriterios, surgiendo una asignación de 30,3% para la dimensión económica, 38,3% para la ecológica y 31,5% para la social. Aun cuando el peso relativo de la dimensión ecológica es mayor al caso inicial, los resultados obtenidos fueron los mismos. Esto estaría indicando una compensación entre las preferencias asignadas en la síntesis. Finalmente se realizó un análisis de sensibilidad para observar cuán sensibles son las alternativas a los cambios en las prioridades de

los criterios. Al analizar el comportamiento de cada alternativa con respecto a cada criterio, para el caso inicial, la SD presentó un mejor desempeño que la LC. Luego se asignó una prioridad mayor a los subcriterios/indicadores: Costos ambientales por reposición, Indicador R (riesgo de contaminación), Autogestión y Gestión ambiental y la síntesis arrojó un resultado de 0,523 (SD) y 0,477 (LC).

CONCLUSIONES

Los efectos de largo plazo de la SD y de la LC en el ambiente edáfico constituyen una problemática compleja, que requiere un tratamiento interdisciplinario, el cual a su vez no se agota en la aplicación de un solo método de valoración de servicios ambientales. Se observa que los métodos del costo de reposición y de la función de producción reflejan dichos impactos en cierta medida. Sin embargo, no resultan suficientes para ponderar las ventajas de la SD sobre la LC. El análisis multicriterio realiza un abordaje más integral, otorgando prioridad relativa al sistema de SD para el caso de estudio. Se plantea la necesidad de validar el modelo de indicadores propuesto en un mayor número de casos en el sudoeste bonaerense y/o en otros ámbitos geográficos, así como profundizar las investigaciones sobre metodologías de valoración de la sustentabilidad en agroecosistemas a escala predial.

BIBLIOGRAFIA

- Abad C. 1996. Métodos e instrumentos de valoración económica de bienes y servicios ambientales. El caso de España. En: Sustentabilidad ambiental del modelo de crecimiento económico chileno, Sunkel O. (Ed.), Univ.de Chile, Santiago p. 325-359.
- Azqueta Oyarzún D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. McGraw- Hill, Interamericana de España. Madrid.
- Balesdent J., Chenu C. & Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53: 215-230.
- Ethos, 2011. *Indicadores Ethos de Responsabilidad Social Empresaria*. Instituto Ethos de Empresas y Responsabilidad Social, San Pablo, Brasil.
- Ciampitti I. & García, F. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Revista Informaciones Agronómicas*, Marzo: 13-16.
- Falcón F. & Burbano R. 2004. Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoam. Economía Ecológica* I: 11-20.
- Forman E. & Selly, M. 2001. *Decision by Objectives - How to convince others that you are right*. World Scientific Publishing, River Edge, New Jersey.
- Franzluebbbers A.J., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till, Res.* 66: 95-106.
- Galantini J.A.; Iglesias, J.O.; Maneiro, C.; Santiago, L. & Kleine, C. 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)-INTA* 35:15-30.
- GRI 2011. *GRI e ISO 26000*. Global Reporting Initiative, Amsterdam, Holanda.
- Kapp K.W. 1970. *Social Costs, Economic Development, and Environmental Disruption*, En: J. E. Ullmann (Ed.), University Press of America, Lanham, Md (repr. 1983).
- Kleine C. & Puricelli, A. 2001. Comparación de los rendimientos y algunos parámetros químicos luego de varios años bajo LC y SD en el sudoeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas INPOFOS* 12:15-19.
- Moraes Sa J.C. 2003. Rastrojos: Alimento del suelo. En: X Congreso Nacional de AAPRESID, Rosario (SF), pp.135-138.
- Saaty L. 1997. *Toma de Decisiones Para Líderes: El proceso jerárquico analítico la toma de decisiones en un mundo complejo*. RWS Publications.
- Smyth A.J. & Dumanski J. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science* 75:401-406.