



*Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria*

Evolución del conflicto: Economía - ambiente en dos establecimientos agropecuarios en el sur de Córdoba, 1997 y 2006^{1 2}

Por:

Ariel R. Angeli³

Jorge D. de Prada⁴

José M. Cisneros⁵

MAYO DE 2011

RÍO CUARTO, CÓRDOBA, ARGENTINA

1 Trabajo fue presentada y aprobado XXIV Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa y XXII Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa.

2 Subsidiado por: Convenio AACREA-UNRC, MINCyT Córdoba Préstamo BID-PID N° 013/2009: Bases para el ordenamiento territorial en el medio rural de la provincia de Córdoba y el SECYOT, FAV, UNRC.

3 Estudiante de posgrado, Maestría en Ciencias Agropecuarias, FAV-UNRC. Ruta Nacional 36, Km 601. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Teléfono: (0054-3584676409). Correo electrónico: ariel_angeli@hotmail .com

4 Departamento de Economía Agraria, FAV, UNRC. Ruta Nacional 36, Km 601. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Teléfono: (0054-358) 4676519 Correo electrónico: jdeprada@ayv.unrc.edu.ar

5 Departamento de Ecología Agraria, FAV, UNRC. Ruta Nacional 36, Km 601. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Teléfono: (0054-358) 4676519 Correo electrónico: jcisneros@ayv.unrc.edu.ar



EVOLUCIÓN DEL CONFLICTO: ECONOMÍA - AMBIENTE EN DOS ESTABLECIMIENTOS AGRARIOS DEL SUR DE CÓRDOBA, 1997 Y 2006¹.

Ariel R. Angeli
ariel_angeli@hotmail.com ²

Jorge D. de Prada
jdeprada@ayv.unrc.edu.ar ³

José M. Cisneros,
jcisneros@ayv.unrc.edu.ar ⁴

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar la evolución de la sostenibilidad de la agricultura considerando la dimensión económica y ambiental de dos establecimientos agropecuarios, EAP, contrastantes mediante la utilización de matrices de pagos e información primaria proveniente de la gestión. El modelo integra 6 objetivos: Maximizar Margen Bruto Global (MBG); Minimizar Capital de Trabajo (CT); Minimizar riesgo económico (RE); Minimizar pérdidas de Suelo (PS), Maximizar el Balance de Materia Orgánica del Suelo (BMOS), y minimizar la dependencia energética (DE). Además, incluye un conjunto de restricciones de tierra propia, capital fijo, y trabajo y restricciones técnicas. Los resultados muestran una evolución diferencial entre atributos aunque no tan marcada entre EAP. En el 1997, la rentabilidad económica aparece en conflicto con todos los atributos para ambos EAP. En contraste, en el 2006 la rentabilidad económica muestra un conflicto débil con PS y BMOS, mientras que DE y CT muestra serias desmejoras. La evolución real de los EAP, muestra mejoras significativas en los valores alcanzados de MBG, PS y BMOS, mientras que las desmejoras son significativas en términos de DE, CT y RE. El EAP, agrícola, muestra mayor intensidad en mejoras y desmejoras que la EAP, mixta.

PALABRAS CLAVE

Agricultura sostenible; Análisis Multicriterio; Matriz de pago; economía; ambiente; gestión; Córdoba-Argentina

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the evolution of agriculture taking into account the economic and environmental dimensions for two farms by using payoff-matrices and primary information from farm records in two periods. The model has 6 objectives to: maximize the net revenue (NR), minimize the working capital (CT); minimize the economic risk (RE); minimize the soil loss (SL), maximize the balance of soil organic matter (BMOS) and minimize the energy dependence (ED). The hard constraints are: land owned, fixed capital, labor and technical constraints. The results show a different evolution among attributes but does not between farms. In the 1997, NR was in conflict with all

¹ Este trabajo constituye parte de la tesis de maestría en ciencias agropecuarias, FAV, UNRC

² Estudiante de posgrado, Maestría en Ciencias Agropecuarias y Convenio AACREA y UNRC

³ Docente del Departamento de Economía Agraria, FAV-UNRC

⁴ Docente del Departamento de Ecología Agraria, FAV-UNRC

the other attributes for both farms. In contrast in 2006, NR shows a weak conflict with BMOS and SL. Between periods, three attributes: NR, SL and BMOS have a sustancial improvement in their frontier, while the others show significant deteriorations. The farms has increased the desired value of three atributes: NR, BMOS and SL, but at the cost of the other attributes. The farmer, that drops cattle activities in 2006, shows greater intensity in both improvementet and deterioration of the value of the attributes than the other farmer.

KEY WORDS

Sustainable agriculture; Multicriteria analysis; Payoff matrix; Economics; Environmemt; Management; Córdoba-Argentina

1. INTRODUCCIÓN ⁵

La agricultura sostenible, AS, busca mantener los ritmos de crecimiento de la producción semejante a la agricultura industrial pero sin los costos ambientales (p.e. la daños causados por la erosión de suelo, la contaminación difusa del agua por derivados químicos, la producción de gases efectos invernaderos). Este conflicto, puede ser estudiado, mediante análisis de decisiones multicriterio, ADM, por ejemplo mediante matrices de pago (Lu y van Ittersum, 2004) o compensaciones entre los atributos (de Prada *et al.*, 2008; deVoil *et al.*, 2006; Lu y van Ittersum, 2004; Meyer-Aurich, 2005).

La incorporación de los objetivos ambientales en la evaluación de prácticas a través de ADM genera alternativas de cultivo ambientalmente más sanas (Lakshminarayan *et al.*, 1995; Meyer-Aurich, 2005). Las evaluaciones que integran indicadores económicos y ambientales muestran las posibilidades reales de mejora de varios indicadores económicos y ambientales simultáneamente (de Prada, 2001; Kelly *et al.*, 1996). Incluso, el uso de este tipo de ADM puede ayudar a comprender y analizar interdependencias entre los propios objetivos ambientales, tal lo planteado por varios autores (p.e. Lakshminarayan *et al.*, 1995; Meyer-Aurich, 2005).

En relación a los aportes de este tipo de ADM en las rotaciones de cultivo y opciones de uso de la tierra, se encuentra un campo promisorio de investigación, teniendo en cuenta que la consideración de indicadores ambientales lleva al planteo de cambios en las tendencias de las rotaciones de la agricultura actual (Diaz-Zorita *et al.*, 2002; Dogliotti *et al.*, 2004; Lakshminarayan *et al.*, 1995; Lu y van Ittersum, 2004). Si también se consideran criterios económicos es necesario identificar cuáles son los más apropiados. La rentabilidad, medida a través del margen bruto global (MBG), ha sido uno de los indicadores más utilizados (de Koeijer *et al.*, 1995; deVoil *et al.*,

⁵ Agradecimiento: Al Coordinador Regional Carlos Peñafort y al Coordinador de la Mesa de Agricultura Gustavo Martini por la motivación, consejos y la ayuda brindada. Especialmente queremos reconocer a los vocales de AACREA -Región Centro Juan Balbín, Francisco Iguerabide, y Pablo Laphitzondo por su intermedio a todos los productores agropecuarios y técnicos la confianza, tiempos y datos brindados para materializar este estudio.

Financiamiento: a) Proyecto "Validación de una rotación sustentable", Convenio AACREA Región Centro; b) Proyectos "Percepción y visión de los productores agropecuarios y las organizaciones locales acerca de las implicancias socio-económica de los problemas ambientales en el sur de Córdoba, Argentina ", SECYT-UNRC y c) Proyecto: "Ordenamiento del territorio en el medio rural. Región Centro, Argentina", financiado por SECYT

2006; Lu y van Ittersum, 2004; Meyer-Aurich, 2005). Sin embargo, este atributo aparece en conflicto con otros de la dimensión económica: La disponibilidad de capital de trabajo (CT) para llevar adelante el proceso de producción (de Prada *et al.*, 2008); y el riesgo económico (RE) que asume el tomador de decisiones (TD), medido a través de la variabilidad de los resultados económicos, varianza del margen bruto global (de Prada *et al.*, 2008; deVoil *et al.*, 2006).

Algunos estudios muestran que sacrificando levemente un resultado económico, se pueden alcanzar mejoras significativas en términos ambientales. De hecho, estudios en el sur de Córdoba, muestran que si el productor agropecuario reconoce la degradación de suelo afecta la productividad de su tierra, con una resignación del 10% del Margen Bruto Global (MBG) se logran reducciones de la erosión de suelo del 93%, prácticamente se elimina el conflicto entre estos atributos, como así también, se reduce significativamente el RE y la CT (de Prada *et al.*, 2008). Aunque muy promisorios estos resultados están realizados a nivel de cuenca y utilizando la figura de productor representativo con información secundaria y existen escasos estudios con información primaria.

En este sentido, Angeli *et al.*, (2008) estudia el conflicto entre la dimensión económica y ambiental utilizando datos reales de la gestión de un establecimiento agropecuario (EAP). El modelo incluye cuatro atributos: dos económicos (MBG y CT) y dos ambientales: balance de materia orgánica del suelo (BMOS) y PS. El cultivo de soja y trigo-soja predominan cuando se optimizan objetivos económicos, mientras que maíz y trigo-maíz dominan cuando se optimizan los objetivos ambientales. Los impactos ambientales son menores a los umbrales tolerables para todos los casos. El conflicto economía ambiente es menor en campo propio, donde se obtiene mínimos impactos ambientales con casi 92% del MBG máximo. El CT aparece en fuerte conflicto con el MBG y por otro lado las posibilidades de captura de carbono se ven limitada en este sistema dado el sacrificio económico que hay que realizar para adicionar una tonelada en el BMOS. Aunque estos hallazgos son relevantes para el sur de Córdoba, los trabajos comentados constituyen una de las posibilidades de producción de los sistemas actuales y el debate sobre la AS se plantea sobre la evolución de los atributos ambientales y económicos actuales en relación a los sistemas con menos intensidad y especialización de la década del 90.

La hipótesis central que se plantea es que los sistemas productivos han progresado en términos económicos a costas de impactos mayores en términos ambientales, reduciendo las posibilidades de una agricultura más sostenible. Esta conjetura ha sido particularmente importante en los productores del movimiento AACREA. Este trabajo pretende cerrar esta brecha de conocimiento mediante el estudio de la evolución de los sistemas productivos en dos periodos, uno de la década de 90 y otro posterior a la generación del proceso de agriculturización.

El objetivo de este artículo es analizar la evolución de la sostenibilidad en la dimensión económica y ambiental de EAP contrastantes mediante la utilización de matrices de pagos e información primaria proveniente de la gestión de los EAP. Los objetivos específicos son evaluar las fronteras de

posibilidades en cada periodo de acuerdo a las alternativas de producción e identificar en base a los resultados logrados por el productor cuales son los resultados alcanzados en términos ambientales y económicos.

Esta investigación extiende el modelo multicriterio desarrollado por Angeli et al., (2008), considerando dos EAP, uno agrícola, EAP-A, y otro mixto integrando agricultura y ganadería bovina, EAP-M y para dos periodos de análisis. Es importante notar que ambos EAP en la década del 90 eran mixtos y la evolución hacia la sistemas de producción agrícola puros fue la tendencia dominantes en el movimiento de productores AACREA de la región centro. Además se incorporan dos atributos adicionales: el RE y la DE. La importancia del primero es reconocida en la dimensión económica, mientras la importancia del segundo atributo se pone de relieve por la crisis energética y la escasez creciente de energía de origen fósil.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los EAP pertenecen a grupos CREA de la Región Centro, que cuentan con registros de producción, económicos y de gestión. Sus características edafoclimáticas más relevantes se muestran en la TABLA 1.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS EAP.

	EAP-A	EAP-M
Actividad principal	Periodo 1: mixto y 2: agrícola puro	Periodo 1: mixto y 2: mixto
Suelo		
Clasificación taxonómica	Haplustol éntico, serie Olaeta	Haplustol údico, serie Bouchardo
Textura	Franca arenosa	Franca
Drenaje	Algo excesivo	Bien drenado
Pendientes	1%	0,5 - 0,75%
Clima		
Régimen térmico	Templado	Templado
Régimen hídrico	Sub-húmedo a semi-árido	Sub-húmedo
Precipitaciones (mm)	856	979
Distribución precipitaciones	Monzónico (81% semestre cálido)	Monzónico (75% semestre cálido)

Fuente: elaborado a partir de información cartográfica disponible (AACREA, 2007a; Jarsún et al., 2003) y registros pluviométricos de cada productor, serie 1984-2006 para el EAP-A y serie 1982-2007 para el EAP-M (CRG, 2007).

La definición de los criterios y el modelo se realizó mediante un proceso interactivo con cada TD y sus asesores técnicos. Cuatro entrevistas con cada productor, dos con cada asesor técnico y diez reuniones técnicas del grupo de asesores de AACREA - Región Centro fueron realizadas. Asimismo, en la definición final de los criterios también se utilizó la literatura específica sobre ADM aplicada al problema de sostenibilidad. Los atributos ambientales fueron evaluados sólo en la superficie propia para igualar la base de cantidad de tierras sobre la que se calculan y para reflejar la propia percepción de los TD de mayor importancia del cuidado del recurso cuando la tenencia de la tierra es propia. Por otra parte, la identificación de las variables decisión se contó con la siguiente información: a) actividades productivas del productor, b) tareas experimentales llevadas por los grupos CREA, y c) información de los TD del grupo similares (AACREA, 2009). Esto permite identificar el conjunto de opciones que dispone TD previo a la realización de las actividades.

Se utilizó un modelo similar al propuesto por Schniederjans (1994), para cada EAP y periodo, representado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Max (min): } \quad f_i(x) = \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \quad \text{para } i = 1, \dots, q \text{ atributos.} \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a: } \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \text{para } i = 1, \dots, m \text{ restricciones.} \quad (2)$$

$$x_j \geq 0, \quad \text{para } j = 1, \dots, n \text{ variables de decisión.} \quad (3)$$

donde las ecuaciones tipo (1) representan las funciones objetivos, que dependen de las variables de decisión (x_j), c_{ij} son los coeficientes de contribución de cada variable a la función objetivo: Maximizar MBG, Minimizar CT, Minimizar RE, Minimizar PS, Maximizar BMOS y minimizar DE (ver métodos para estimar o calcular los parámetros en TABLA 2. Las ecuaciones tipo 2 representan las restricciones: disponibilidad de tierra, maquinarias, restricción de rotación (si el productor indica que un cierto porcentaje de la superficie debe dedicarse a gramíneas por ejemplo), suelos de distinta capacidad de uso, etc. En estas restricciones, a_{ij} son los coeficientes técnicos y b_i muestran las máximas disponibilidades o las condiciones de igualdad que establece la restricción (ver detalles en TABLA 3). Las ecuaciones tipo (3) representa la condición de no negatividad de las variables de decisión.

Utilizando los modelos descriptos, se construyó las matrices de pago, representada de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} g_{11}^* & g_{12} & g_{13} & g_{14} & g_{15} & g_{16} \\ g_{21} & g_{22}^* & g_{23} & g_{24} & g_{25} & g_{26} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33}^* & g_{34} & g_{35} & g_{36} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44}^* & g_{45} & g_{46} \\ g_{51} & g_{52} & g_{53} & g_{54} & g_{55}^* & g_{56} \\ g_{61} & g_{62} & g_{63} & g_{64} & g_{65} & g_{66}^* \end{bmatrix}$$

La diagonal mayor indica el valor óptimo de cada atributo cuando se optimiza su función individualmente, mientras que los elementos fuera de la diagonal corresponden al valor que toman el resto de los atributos (Sumpsi et al., 1996). Con la finalidad de comparar el grado de alcance de cada objetivo para cada uno de los procesos de optimización, se calculó un porcentaje de alcance (PA, Ecuación 4 y 5 para objetivos de maximizar y minimizar respectivamente) para posteriormente visualizar en forma conjunta los resultados con un FIGURA tipo araña:

$$PA_{ij} = [(g_{ij}^* - g_{ij}) / (g_{ij}^* - g_{*ij})] \times 100 \quad (4)$$

$$PA_{ij} = \{[1 - (g_{ij} - g_{*ij}) / (g_{*ij} - g_{ij})]\} \times 100 \quad (5)$$

onde PA_{ij} representa el indicador porcentual de alcance del atributo j^{th} en la optimización del i^{th} atributo, g_{ij} es el valor realmente alcanzado, g_{ij}^* es el valor ideal del atributo j y g_{*ij} corresponde al peor valor, antiideal, de ese atributo dentro de la matriz de pago.

TABLA 2. ATRIBUTOS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN.

Dimensión de la sustentabilidad	Atributo o indicador (unidad)	Sigla	Objetivo	Método de estimación
Económica	Margen Bruto Global (\$c. año ⁻¹)	MBG	Maximizar	Metodología AACREA (AACREA, 1990)
	Capital de Trabajo (\$c. año ⁻¹)	CT	Minimizar	Costos Directos Efectivos (AACREA, 1990).
	Riesgo Económico (\$c ²)	RE	Minimizar	Covarianza de Margen Bruto (Portillo et al., 2005)
Ambiental (considerado en superficie propia)	Pérdida de suelo por erosión (Mg año ⁻¹)	PS	Minimizar	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo revisada II (Foster, 2004)
	Balace de materia orgánica del suelo (Mg año ⁻¹)	BMOS	Maximizar	Modelo de Simulación Roth-C (Jenkinson y Coleman, 1999).
	Dependencia energética (Mj. año ⁻¹)	DE	Minimizar	Valoración energética de los insumos (Montico et al., 2006)

Fuente: Elaboración propia. Nota \$c= pesos constantes a julio del 2007 (\$c) utilizando el índice de precios mayorista nivel general (AACREA, 2007b)

TABLA 3: RESTRICCIONES DE TIERRA, CAPITAL, TRABAJO Y TÉCNICAS DE LOS CUATRO MODELOS

Restricción	Unidad	Productor 1		Productor 2	
		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 1	Periodo 2
Disponibilidad de recursos					
Tierra	Ha	539	539	3.161	3.161
Periodo óptimo Sembradora grano grueso cultivos de primera en primavera	Hrs	240	175	240	240
Período óptimo Sembradora grano grueso cultivos de segunda en primavera	Hrs	120	85	120	120
Período óptimo Sembradora grano fino otoño	Hrs	240	200	240	240
Trabajo total	Hrs	8.360	7.200	19.200	30.000
Decisiones empresariales					
Cantidad mínima de cabezas invernada	Animales/año	-	-	1.500	1.500
Cantidad máxima Cultivos para semillas forrajeras	Ha	-	-	100	100
Restricciones técnicas					
Balace de cadena forrajera		Trimestral	-	Trimestral	Trimestral
Restricción de rotación (menor o igual)	Ha (cultivo)	269,5 (Maní)	269,5 (Soja)	1.580 (Girasol)	2.213 (soja + Trigo-soja) 1.580 (girasol)
Alfalfa en implantación	Ha	0,5*alfalfa producción	-	0,5*alfalfa producción	0,5*alfalfa producción
Alfalfa degradada	Ha				

Fuente: Elaboración propia.

3. DESARROLLO

3.1. Conflicto económico-ambiental: EAP agrícola

En este apartado analizamos, el conflicto entre atributos de la dimensión ambiental y económica para el EAP-A que paso de mixto a agrícola puro entre periodos.

3.1.1. Conflicto entre atributos en el periodo 1997

Para el periodo 1, se identifica un importante conflicto entre la obtención del máximo MBG y el resto de los atributos (TABLA 4) cuando aún el sistema de producción era mixto. Desde el punto de vista económico, el productor si hubiese aspirado a tener una máxima rentabilidad (\$c 704.000; PA=100%) necesitaría utilizar el máximo capital de trabajo (\$ 1.471.000; PA=0%) y debía correr el mayor riesgo (422.422 millones \$c²; PA=0%)

La maximización de la rentabilidad también implicaba los peores valores de PS y DE y BMOS negativos (8.894 Mg, 3.220 GJ y -639 Mg respectivamente) por lo que se manifiesta un gran conflicto entre obtener el mejor resultado económico y la conservación de los recursos. Sin embargo, la optimización de los atributos ambientales permite mantener entre un 29-49% del máximo MBG mientras que cuando se minimiza RE o CT el MBG se aproxima a 0%, lo cual indica que los conflictos más importantes se encuentran entre atributos económicos y no entre la renta y los atributos ambientales.

En relación al BMOS, sólo en los casos de optimización de este atributo o bien minimizando PS se logran valores positivos en el BMOS y la optimización de los atributos económicos resulta en pérdidas de MOS mayores a 1 Mg ha⁻¹año⁻¹ (entre 639 y 784 Mg año⁻¹ totales), implicando que para el periodo 1, existe un importante conflicto entre las alternativas de producción que optimizan los atributos económicos y el mantenimiento de la MOS.

Por otro lado, se observa escaso conflicto entre indicadores ambientales entre sí. Por ejemplo, la mínima de PS se logra junto con un 81% y 98% del alcance del máximo BMOS y de la mínima dependencia energética respectivamente. Este hallazgo es relevante ya que las variables de decisión que generan resultados positivos en la dimensión ambiental son similares para diferentes atributos.

TABLA 4: MATRIZ DE PAGO EN EL PERIODO 1997. EAP-A.

Objetivo	MBG \$c.año ⁻¹ x1.000	CT \$c.año ⁻¹ x1.000	RE \$c ² x1.000.000	PS Mg.año ⁻¹	BMOS Mg.año ⁻¹	DE MJ.año ⁻¹ x1.000
Maximizar MBG	704 (100%)	1.471 (0%)	422.422 (0%)	8.894 (0%)	-639 (14%)	3.220 (0%)
Minimizar CT	26 (2%)	237 (100%)	3.103 (100%)	4.468 (51%)	-741 (4%)	1.171 (89%)
Minimizar RE	15 (0%)	264 (98%)	2.138 (100%)	3.966 (57%)	-786 (0%)	1.313 (83%)
Minimizar PS	353 (49%)	1.143 (27%)	218.861 (48%)	247 (100%)	52 (81%)	969 (98%)
Maximizar BMOS	220 (30%)	1.066 (33%)	131.789 (69%)	605 (96%)	250 (100%)	1.247 (86%)
Minimizar DE	217 (29%)	1.223 (20%)	218.320 (49%)	2.360 (76%)	-331 (44%)	918 (100%)

Nota: Entre paréntesis, el grado de alcance del atributo en porcentaje con relación al óptimo, donde 0% y 100% antiideal e ideal respectivamente, \$c = pesos constantes a julio 2007.

En síntesis, para este periodo, el EAP-A encuentra un importante conflicto entre la maximización de la renta y el resto de los objetivos económicos y ambientales. Mientras tanto, los objetivos de minimizar el RE y el CT expuesto en un ciclo de producción se mueven en la misma dirección, con lo cual las estrategias que mejoran uno de ellos, también genera beneficios para el otro. Lo mismo sucede para los atributos ambientales, ya que considerando uno de ellos, se genera una solución en la que los tres atributos de esa dimensión se muestran favorables.

3.1.2. Uso de la tierra y rotaciones, EAP-A

Los rubros de producción que selecciona el modelo cambian en función del objetivo que se optimiza. En el caso de la maximización de MBG, los rubros productivos que sugiere el modelo son maní y maíz para campo propio y maíz y trigo para campo alquilado. La rotación corta Maní-Maíz para el campo propio

se muestra como óptima desde el punto de vista del retorno económico. Por el contrario, la optimización individual de tres atributos (CT, PS y BMOS) genera una alta selección de ganadería en campo propio. Cuando se optimiza CT, el modelo selecciona pasturas anuales casi en la totalidad de la superficie, cuando se minimiza la PS se utilizan pasturas perennes, con los mejores indicadores en relación a la cobertura del suelo y reducción de pérdidas por erosión y cuando el atributo a optimizar es DE, se combinan pasturas anuales con perennes. Para alcanzar el óptimo de estos tres atributos, la participación de pasturas en la rotación debe ser entre el 95-100%.

En la maximización de BMOS, el modelo sugiere una combinación de ganadería con pastura perenne y agricultura con maíz. En el caso de la minimización de RE, el modelo selecciona para campo propio una alta proporción de ganadería (70% de la superficie) y una alta diversidad de cultivos agrícolas en el resto de la superficie.

3.1.3. Conflicto entre atributos en el periodo 2006.

Entre el periodo 1 y 2, el EAP-A se ha convertido a agrícola puro y ha eliminado como alternativa el cultivo de maní. En el periodo 2, el conflicto entre atributos económicos y ambientales decreció de manera importante respecto al periodo 1 (TABLA 5). Por un lado, se puede alcanzar el máximo MBG (\$c 1,6 millones por año) y a la vez obtener el 38% de la mínima PS y 46% del máximo BMOS. Además, es posible minimizar la PS y DE y maximizar BMOS alcanzado entre 88-92% del máximo MBG. Es decir que las propias actividades agrícolas mejoraron sus atributos en relación a la PS y BMOS.

Asimismo, la máxima PS (698 Mg año^{-1}) resulta en un promedio de $1,29 \text{ Mg ha}^{-1}$, muy por debajo de los niveles de tolerancia de PS para este tipo de suelo (Casas, 2001; Foster, 2004) y en cada optimización, los planteos resultantes generan un BMOS positivo. Ambas situaciones contrastan respecto al periodo 1. Una situación inversa se manifiesta cuando el atributo es la DE, ya que al maximizar el MBG se logra sólo un 10% de la minimización de este atributo. Asimismo los atributos ambientales muestran conflicto entre sí, a diferencia de lo ocurrido en el periodo 1, ya que la optimización de los atributos PS y BMOS genera los peores valores de DE.

La minimización de RE y de CT implica los peores valores de MBG indicando, al igual que en el periodo anterior, conflicto entre estos atributos económicos. Este hallazgo resalta la importancia de la disponibilidad o posibilidad de acceso a CT para llevar adelante un ciclo de producción con alto retorno económico y mínimos impactos ambientales. A su vez, la variabilidad del resultado cuando este es bueno es máxima por lo que el sistema se convierte en más riesgoso.

El atributo económico que mayor conflicto muestra con los atributos ambientales es la minimización de CT, ya que cuando se optimiza este atributo, los atributos ambientales toman el peor resultado (PA = 0% para el objetivo de minimizar la PS y de maximizar el BMOS). Lo contrario sucede con el atributo de minimización de la DE, que en este caso toma un valor cercano al óptimo, lo cual es esperable ya que minimizar CT implica reducir el disponible para paliar los gastos efectivos en insumos externos (p.e. fertilizantes), y consecuentemente la dependencia de energía. Sin embargo, se resalta que las alternativas tecnológicas de mínimo costo y mínima entrada de insumos

energéticos también resultan en el peor retorno económico.

En síntesis, en el periodo 2, la relación de conflicto entre atributos cambia respecto al periodo 1. Se pueden alcanzar los mejores resultados ambientales PS y BMOS y a la vez tener alrededor del 90% de la renta económica. Sin embargo, la optimización de la dimensión ambiental no sigue la misma tendencia para los tres atributos (PS, BMOS y DE), por lo que se manifiesta un fuerte conflicto para alcanzar en simultáneo estos tres objetivos. Por último, nuevamente los objetivos de minimizar CT y Minimizar RE se mueven en la misma dirección, pero entran en conflicto con la maximización de la renta y la conservación del suelo (PS y BMOS).

TABLA 5: MATRIZ DE PAGO PERIODO 2, 2006. EAP-A

	MBG	CT	RE	PS	BMOS	DE
Objetivo	\$c.año ⁻¹ x1.000	\$c.año ⁻¹ x1.000	\$c ² x1.000.000	Mg.año ⁻¹	Mg.año ⁻¹	MJ.año ⁻¹ x1.000
Maximizar MBG	1.641 (100%)	1.927 (1%)	228.476 (0%)	574 (38%)	1.016 (46%)	7.917 (10%)
Minimizar CT	479 (0%)	293 (100%)	25.034 (100%)	698 (0%)	489 (0%)	3.979 (99%)
Minimizar RE	508 (3%)	357 (96%)	24.856 (100%)	678 (6%)	688 (17%)	5.805 (58%)
Minimizar PS	1.545 (92%)	1.950 (0%)	217.767 (5%)	369 (100%)	1.636 (100%)	8.379 (0%)
Maximizar BMOS	1.545 (92%)	1.950 (0%)	217.767 (5%)	369 (100%)	1.636 (100%)	8.379 (0%)
Minimizar DE	1.502 (88%)	1.800 (9%)	221.975 (3%)	426 (83%)	1.191 (61%)	3.926 (100%)

Nota: Los valores en negrita identifican el óptimo para cada atributo. Entre paréntesis, el grado de alcance en valores porcentuales, donde 0% y 100% representan el antiideal e ideal del atributo respectivamente. \$c = pesos constantes a julio 2007.

3.1.4. Uso de la tierra y rotaciones, periodo 2

Las opciones y combinaciones productivas y de tenencia de la tierra seleccionadas cuando el modelo optimiza individualmente cada atributo son variables. Cuando el objetivo es maximizar el MBG, en la tierra propia, el modelo asigna la mitad de la superficie a maíz de primera y el resto a trigo-soja de segunda, con un 50% de participación del cultivo de soja en la rotación y sin entrar la soja de primera. Mientras tanto, y teniendo en cuenta que no existen restricciones de rotación en la superficie alquilada, el modelo sugiere alquilar 1.012 ha, de las cuales 734 ha se realizan con el cultivo de soja (649 ha con soja de primera). Esto constituye una secuencia de cultivo aproximada de tres ciclos de soja y uno de maíz para campo alquilado. Se observa que el modelo genera diferencias en el planteo rotacional entre campo propio y campo alquilado ante restricciones variables de acuerdo a la tenencia de la tierra.

Si el objetivo es minimizar el CT, el modelo selecciona realizar la mitad de la superficie de maíz y ceder en alquiler el resto de la tierra, sacrificando gran parte del MBG. En este sentido, puede observarse que si el productor no dispone de suficiente CT cederá tierra a terceros aún resignando gran parte de su máxima rentabilidad económica posible. Este fenómeno, pone de relieve nuevamente la importancia del financiamiento de corto plazo y su relación con la tenencia de la tierra. Algo similar ocurre cuando el objetivo es minimizar el RE, lo cual indica que mientras mayor sea la aversión al riesgo, el productor tiende a no tomar tierra en alquiler, incluso cederla para la producción de soja, a costa de retorno económico.

Mientras tanto, si el objetivo es minimizar la PS o maximizar el BMOS, el modelo tiende a asignar la tierra propia para cultivos con mejores resultados ambientales, incluyendo más proporción de maíz en la secuencia, mientras el modelo asigna mayor proporción de la tierra alquilada a soja de primera y trigo-soja de segunda por ignorar los impactos medioambientales fuera del EAP-A.

3.2. Conflicto económico-ambiental y evolución para un EAP mixto

En este apartado analizamos los resultados el EAP-M, que mantiene las actividades ganaderas.

3.2.1. Conflicto entre atributos en el 1997

Para el periodo 1, la renta económica prácticamente está en conflicto con todos los demás atributos con la sola excepción de la DE: la obtención del máximo MBG implica el peor valor para los atributos CT y PS y un alcance del 16% del mínimo riesgo económico, 19% del máximo BMOS y un 87% de la mínima dependencia de energía externa (TABLA 6). En relación a los atributos ambientales, el mejor resultado económico coincide con PS superiores a 10 Mg ha⁻¹ y BMOS negativos. Asimismo, cualquier atributo que sea optimizado genera un escaso alcance de la maximización de MBG (menor al 31%). Este hallazgo se muestra similar que para el EAP-A aunque la localización y escala de producción son bien diferentes.

Se observa, además, que los atributos ambientales PS y BMOS tienen un escaso conflicto entre sí y que bajo las alternativas incluidas en el modelo, no es posible obtener un BMOS positivo, aún optimizando este atributo individualmente.

Por otro lado, el objetivo ambiental de minimizar la DE entra en gran conflicto con los demás objetivos ambientales, ya que la optimización de PS y BMOS genera las máximas DE. Este resultado es contrario al encontrado para el EAP-A en el mismo periodo. Sin embargo, el conflicto entre atributos ambientales no es tan fuerte teniendo en cuenta que al minimizar DE, puede alcanzarse un 46% de la mínima PS y un 62% del máximo BMOS.

La minimización del CT y RE son objetivos que, en este caso, presentan escaso conflicto entre sí. Asimismo, se pueden optimizar obteniendo además más de un 98% de alcance de la minimización de DE.

TABLA 6: MATRIZ DE PAGO DEL EAP-MEN EL PERIODO 1997.

Objetivo	MBG \$c.año ⁻¹ x1.000	CT \$c.año ⁻¹ x1.000	RE \$c ² x1.000.000	PS Mg.año ⁻¹	BMOS Mg.año ⁻¹	DE MJ.año ⁻¹ x1.000
Maximizar MBG	2.302 (100%)	2.078 (0%)	1.331.102 (16%)	32.684 (0%)	-7.149 (19%)	5.842 (87%)
Minimizar CT	1.140 (26%)	621 (100%)	79.891 (97%)	21.810 (38%)	-4.722 (50%)	4.543 (98%)
Minimizar RE	724 (0%)	766 (90%)	35.842 (100%)	31.997 (2%)	-8.677 (0%)	7.337 (75%)
Minimizar PS	1.090 (15%)	1.748 (23%)	1.583.084 (0%)	4.191 (100%)	-719 (100%)	16.030 (0%)
Maximizar BMOS	1.074 (22%)	1.743 (23%)	1.582.569 (0%)	4.315 (100%)	-699 (100%)	16.073 (0%)
Minimizar DE	1.206 (31%)	650 (98%)	103.704 (96%)	19.452 (46%)	-3.738 (62%)	4.352 (100%)

Los valores en negrita identifican el óptimo para cada atributo. Entre paréntesis, el grado de alcance en valores porcentual, donde 0% = peor valor para el atributo y 100% = mejor valor para el atributo. \$c = pesos constantes a julio 2007.

3.2.2. Uso de la tierra y rotaciones, periodo 1

Cuando se busca maximizar el MBG, el modelo sugiere un esquema con una relación agricultura/ganadería de 1:1 con girasol en la mitad de la superficie y el resto lo ocupa con ganadería (pasturas anuales y perennes en superficie casi equivalentes). Asimismo, el modelo selecciona alquilar tierra a terceros, 1.820 ha para agricultura y 428 ha para ganadería. En tanto, en la maximización de BMOS y en la minimización de PS, el modelo sugiere una combinación de ganadería con pastura perenne y agricultura con gramíneas trigo y maíz. Finalmente, la actividad ganadera aparece favorable para minimizar DE, CT y RE, siendo seleccionada en relaciones con la agricultura de 53:1, 12:1 y 3:1 respectivamente. Además, en el caso de la minimización de RE, aparece como estrategia la diversificación de rubros de producción (son elegidas por el modelo 15 alternativas de producción distintas).

3.2.3. Conflicto entre atributos en el periodo 2006.

Para el periodo 2, el conflicto entre la maximización de MBG y el resto de los atributos se reduce (TABLA 7), ya que se puede alcanzar el máximo MBG y un 19%, 55% y 49% de alcance de RE, PS y BMOS respectivamente. No obstante, maximizar el MBG implica el máximo CT y la mayor DE. La combinación de alternativas que generan el mínimo CT y aquellas que determinan el mínimo RE se mueven en la misma dirección y generan un escaso cumplimiento (PA<10%) de los objetivos de maximizar MBG, minimizar la PS y maximizar BMOS.

Nuevamente los objetivos ambientales de minimizar PS y maximizar BMOS se mueven en el mismo sentido, ya que al optimizar uno de ellos, se alcanza más del 80% de cumplimiento del otro. El conflicto entre PS, BMOS y DE es menos marcado que para el EAP-A, ya que se puede obtener la mínima DE y a la vez casi PA = 100% y 65% para PS y BMOS.

TABLA 7: MATRIZ DE PAGO, PERIODO 2, 2006. EAP-M.

Objetivo	MBG \$c.año ⁻¹ x1.000	CT \$c.año ⁻¹ x1.000	RE \$c ² x1.000.000	PS Mg.año ⁻¹	BMOS Mg.año ⁻¹	DE MJ.año ⁻¹ x1.000
Maximizar MBG	5.770 (100%)	5.122 (0%)	1.736.262 (19%)	6.675 (55%)	-556 (49%)	30.037 (0%)
Minimizar CT	762 (0%)	1.322 (100%)	69.709 (99%)	12.754 (0%)	-4.860 (0%)	13.987 (76%)
Minimizar RE	1.180 (8%)	1.427 (97%)	53.292 (100%)	12.371 (3%)	-4.771 (1%)	15.453 (69%)
Minimizar PS	1.630 (17%)	2.106 (79%)	467.390 (80%)	1.175 (100%)	1.382 (71%)	14.960 (71%)
Maximizar BMOS	2.212 (29%)	3.533 (42%)	2.131.878 (0%)	2.876 (89%)	3.879 (100%)	25.974 (19%)
Minimizar DE	1.523 (15%)	1.897 (85%)	182.552 (94%)	1.759 (100%)	808 (65%)	8.789 (100%)

Los valores en negrita identifican el óptimo para cada atributo. Entre paréntesis, el grado de alcance en valores porcentual, donde 0% = peor valor para el atributo y 100% = mejor valor para el atributo. \$c = pesos constantes a julio 2007.

Resumiendo, el EAP-M ha reducido el conflicto entre maximización de la renta y los indicadores ambientales de PS y BMOS, aunque mantiene valores negativos de BMOS en esta optimización. Sin embargo, llama la atención que mientras en el periodo 1 se podía obtener máximo MBG con casi mínima DE, en el periodo 2 estos atributos son extremadamente conflictivos. En tanto, se mantienen las relaciones de bajo conflicto dentro de los pares de atributos CT-

RE (las alternativas que reducen el capital de trabajo reducen también el riesgo) y PS-BMOS (las alternativas que reducen la pérdida de suelo mejoran a su vez el balance de materia orgánica del suelo); sin embargo estos pares de atributos siguen direcciones opuestas ante cambios en el modelo de producción.

3.2.4. Uso de la tierra y rotaciones, periodo 2

Cuando se maximiza el MBG, el modelo sugiere la máxima superficie destinada a cultivos agrícolas (relación 9,3:1 entre agricultura y pasturas). La mayor superficie es asignada a trigo-soja, seguida por girasol y soja de primera. La tierra asignada a pasturas anuales y perennes alcanza al 10% del total y permite cumplir con la alimentación de los animales que por restricción entran al modelo. Asimismo, el modelo selecciona alquilar 2.641 hectáreas, dedicando el 84% de las mismas a agricultura con el cultivo de soja.

Cuando se busca la minimización del CT, del RE y de la DE, la relación entre cultivos agrícolas y ganadería se invierte, y el modelo selecciona ganadería pura cuando el objetivo es minimizar CT y 4,3 ha de pasturas por cada ha dedicada a agricultura cuando se intenta minimizar RE o DE. La diferencia entre ambas optimizaciones se presenta en la estrategia de diversificación que suma el modelo en el caso de minimizar el RE (selecciona una combinación de seis rubros de producción, mientras que cuando se minimiza CT, sólo se eligen el rubro ganadería).

En la maximización de BMOS y en la minimización de PS, el modelo sugiere una combinación de ganadería con pastura perenne y agricultura con gramíneas trigo y maíz. Cuando se optimizan estos objetivos, el modelo selecciona una relación de 1,6:1 y 2,5:1 de pasturas en relación a la superficie de agricultura.

Resumiendo, las diferencias en los planteos de producción para la optimización de los objetivos se hacen más marcadas para este periodo en relación al anterior. Cuando el objetivo es exclusivamente maximizar la renta, el modelo selecciona la mayor superficie posible de agricultura y sólo un mínimo de ganadería. En contraste, la minimización de CT muestra la situación inversa. La consecución del resto de los objetivos se materializa con diferentes proporciones y tipos de cultivos agrícolas.

3.3. Evolución de los atributos en EAP agrícola y mixta.

Para explorar con mayores detalles estos resultados, observamos la evolución en los atributos de las matrices de pago mediante la división de la matriz del periodo 2 sobre la matriz del periodo 1 para cada EAP (TABLA 8). Valores mayores a 1 indican un aumento del atributo y valores menores a 1 una reducción. Es importante notar que el aumento de un atributo implica una mejora si el objetivo es maximizar y una desmejora si el objetivo es minimizar y viceversa. En términos generales, se observa un comportamiento diferente entre el periodo 1 y 2 dependiendo del atributo evaluado aunque bastante similar entre los EAP.

En la TABLA 8, podemos observar que las fronteras de los atributos MBG y BMOS mejoran, mientras que CT, RE y DE empeoran para ambos EAP. En tanto, la frontera PS empeora en EAP-A y mejora en EAP-M. Esto se debe

a que la EAP-A en el primer periodo tenía como alternativas la rotación pasturas perennes (que son los rubros de menor PS).

El BMOS es el atributo con mejoras más significativas en la frontera, siendo 6,54 y 5,55 veces superior al valor óptimo del periodo 1 para el EAP-A y EAP-M respectivamente. EL EAP-A y el EAP-M también mejoran significativamente la frontera de la rentabilidad aumentando 233% y 251% el MBG en el segundo periodo.

Aunque las fronteras de los atributos de los EAP muestran tendencia similar, los valores de desmejoras en las fronteras de RE y DE son más marcados en el EAP-A, mientras que CT es más marcado en la EAP-M. De hecho, las desmejoras en las fronteras de la EAP-A fue de 11,6 y 4,28 veces para RE y DE respectivamente, mientras que la desmejora para EAP-M fue de 1,49 y 2,02 veces para RE y DE respectivamente. Por su parte, la EAP-M presenta una desmejora mayor en términos de CT. De hecho, la EAP-M para las alternativas del segundo periodo minimizando CT necesita 213% más disponibilidad que en el periodo 1, en tanto la EAP-A solo un 24% adicional.

Otro hallazgo interesante de la evolución de las matrices de pago ha sido la reducción del conflicto entre MBG, PS y BMOS a costa de un aumento de necesidades de CT y DE. A excepción minimizar PS en la EAP-A y minimizar CT en la EAP-M que desmejoran, la optimización de todos los atributos muestran mejoras en los resultados de MBG, de BMOS y de PS. Estas mejoras en los atributos MBG y BMOS son más marcadas en términos absolutos en la EAP-A. De hecho, el MBG se incrementa más de 7 veces cuando se optimizan los otros criterios para la EAP-A, mientras que para la EAP-M las mejoras alcanzan dos veces en la minimización del BMOS e inclusive hay una desmejora cuando se optimiza el CT.

TABLA 8: CAMBIO EN LOS ATRIBUTOS DEL PERIODO 2 EN RELACIÓN AL 1.

Objetivo	MBG	CT	RE	PS	BMOS	DE
Evolución de los atributos EAP Agrícola (primer periodo mixto)						
Maximizar MBG	<u>2,33</u>	1,31	<u>0,54</u>	<u>0,06</u>	<u>2,59</u>	2,46
Minimizar CT	<u>18,42</u>	1,24	8,07	<u>0,16</u>	<u>1,66</u>	3,40
Minimizar RE	<u>33,87</u>	1,35	11,63	<u>0,17</u>	<u>1,88</u>	4,42
Minimizar PS	<u>4,38</u>	1,71	1,00	1,49	<u>31,46</u>	8,65
Maximizar BMOS	<u>7,02</u>	1,83	1,65	<u>0,61</u>	6,54	6,72
Minimizar DE	<u>6,92</u>	1,47	1,02	<u>0,18</u>	<u>4,60</u>	4,28
Evolución de los atributos EAP Mixto						
Maximizar MBG	<u>2,51</u>	2,46	1,30	<u>0,20</u>	<u>1,92</u>	5,14
Minimizar CT	0,67	2,13	<u>0,87</u>	<u>0,58</u>	0,97	3,08
Minimizar RE	<u>1,63</u>	1,86	1,49	<u>0,39</u>	<u>1,45</u>	2,11
Minimizar PS	<u>1,50</u>	1,20	<u>0,30</u>	0,41	<u>1,92</u>	<u>0,93</u>
Maximizar BMOS	<u>2,06</u>	2,03	1,35	<u>0,67</u>	5,55	1,62
Minimizar DE	<u>1,26</u>	2,92	1,76	<u>0,09</u>	<u>1,22</u>	2,02

Nota: * ratio entre valor alcanzado del atributo periodo 2 y valor del periodo 1. Subrayados se muestran los atributos que mejoraron en el periodo 2 con respecto al período 1. Los valores en negrita sobre la diagonal mayor identifican esta relación para el óptimo para cada atributo.

En contraste, se puede observar que el CT y la DE han desmejorados con la sola excepción de la minimización de la PS para la EAP-M. La DE ha sido el atributo que más ha empeorado entre periodo y este efecto ha sido aún más marcado en la EAP-A cuando se optimizan los atributos distintos de MBG y más marcado en la EAP-M cuando se optimiza el MBG. Esto se debe

principalmente a que las alternativas tecnológicas de menor DE (menos insumos externos – fertilizantes) no son consideradas por ambos EAP en el segundo periodo. Esto trae aparejado por una lado un aumento de rendimientos debido a la mayor utilización de insumos externos, un aumento de la DE y un aumento en la necesidad de CT que ha sido aún rentable.

3.4. Evolución de los atributos de las EAP

Los resultados logrados en la gestión de los EAP, permiten determinar el PA en cada atributo. Aunque los EAP se diferencian en sus sistemas de producción en el segundo periodo, se puede observar en el

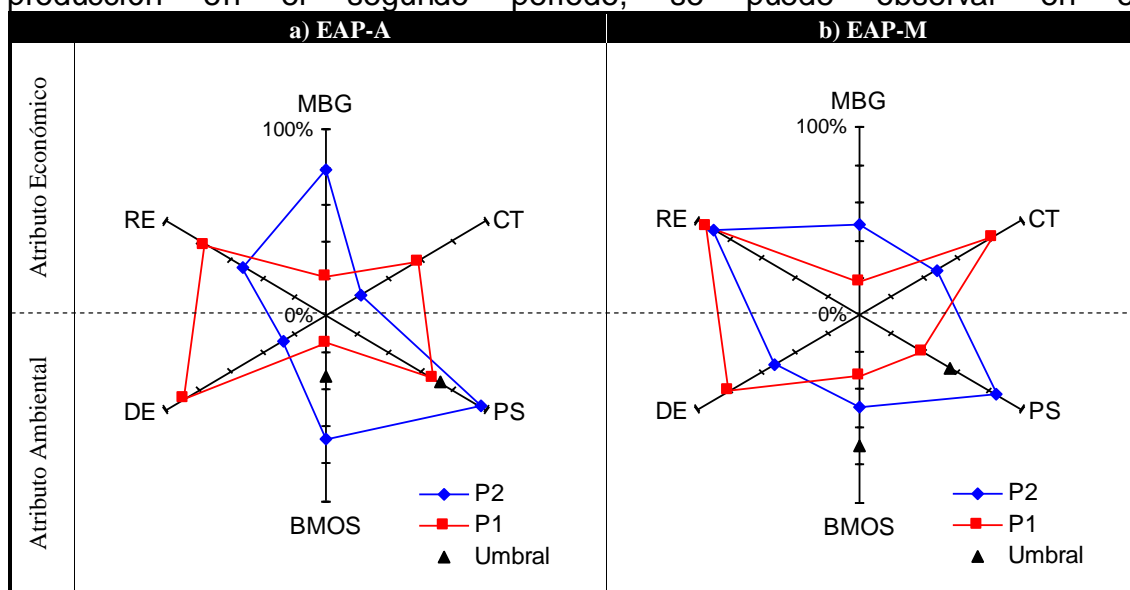


FIGURA 1 que ambos mejoraron tres objetivos (MBG, BMOS y PS) y empeoraron otros tres (CT, RE y DE).

Sin embargo, la intensidad de los cambios y las relaciones con umbrales críticos para los objetivos ambientales fue variable entre los EAP. Los cambios reales fueron más intensos para el EAP-A, quien mejoró un 273% su MBG, reduciendo a la vez en un 81% su PS y aumentando su BMOS en 299%. Mientras tanto, el EAP-M logró mejoras más modestas en estos atributos (aumentó 83% MBG, redujo 66% su PS y aumentó 45% su BMOS, manteniéndolo aún bajo el umbral de balance neutro).

Asimismo, los cambios para el EAP-A también fueron más fuertes para aquellos atributos que empeoraron, a excepción de CT, que solo aumentó 63% en la EAP-A y 91% en la EAP-M. En tanto, EAP-A registro una desmejora del 95% y 257% para los atributos RE y DE respectivamente, mientras estos atributos desmejoran solo 60% y 70% en el EAP-M.

El grado de alcance del atributo, medido a través de su distancia a la frontera de eficiencia, también fue variable según el productor y el periodo (

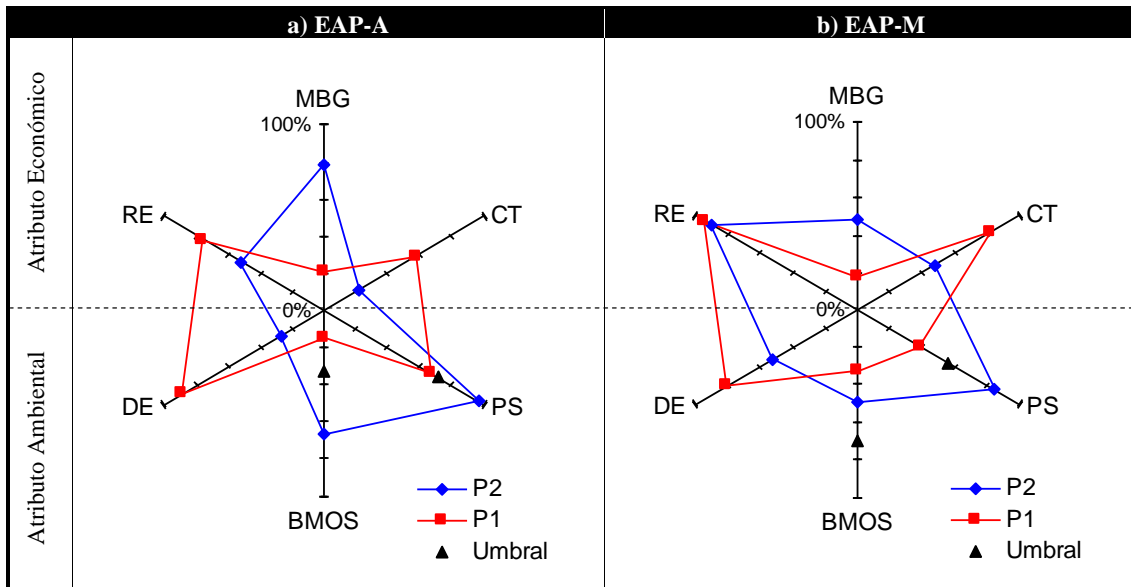


FIGURA 1). En relación a los atributos económicos, mientras el EAP-A se acercó fuertemente a su frontera de máximo MBG (78% para el periodo 2), retrocedió más fuertemente en la minimización de RE (del 75 al 52% de alcance) y de CT (del 57 al 22% de alcance), por lo que la especialización productiva le generó un mayor retorno a expensas de una mayor variabilidad de ese retorno y mayor necesidad de capital para realizar el ciclo de producción. Por el contrario, aún cuando el EAP-M subió su CT, mantiene un sistema con menor capital de trabajo (pasó del 81 a casi 50% del mínimo CT) y con un resultado económico muy estable (se alcanza el 90% del mínimo riesgo en relación al 95% alcanzado en el periodo 1) a expensas de que su MBG se encuentre más alejado de la frontera (44% de alcance). La mejora en los atributos ambientales BMOS y PS para el EAP-A es más fuerte y supera para el periodo 2 a los umbrales establecidos en un BMOS neutro y una PS tolerable de 5 Mg ha^{-1} , alcanzando el 67 y 96 % de los mejores BMOS y PS respectivamente. En tanto, el EAP-M tuvo una mejora más modesta, sobre todo en BMOS, pasando de un 32 a un 49% de máximo alcance y no superando aún el umbral de BMOS neutro.

La situación se invierte cuando el atributo es la dependencia de energía externa proveniente de los insumos. Ambos sistemas pasan de una situación en la que alcanzaban más del 80% del cumplimiento del objetivo en el periodo 1 a depender en mayor medida de insumos costosos energéticamente, pero el cambio es más drástico para el productor tipo 1, que ahora alcanza sólo el 27% de la mínima dependencia de energía, mientras que el EAP-M aún conserva un alcance del 52%. Puede postularse que la especialización en agricultura demandó un paso hacia un mayor uso de insumos costosos desde el punto de vista energético.

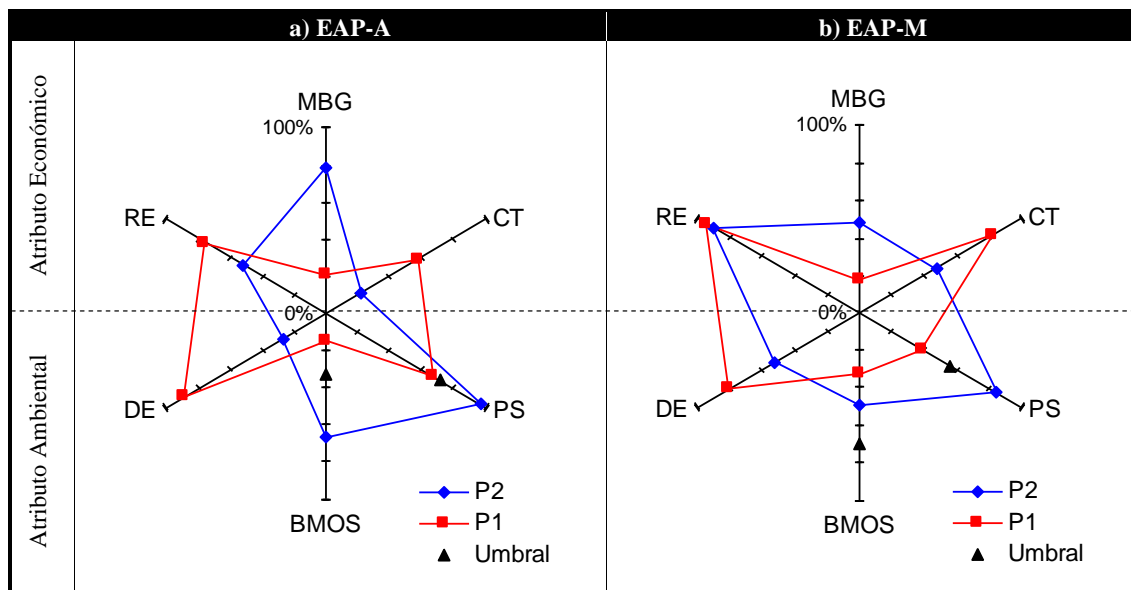


FIGURA 1: GRADO DE ALCANCE REAL DE LOS OBJETIVOS 1 (A) Y 2 (B) EN LOS DOS PERIODOS, P1 Y P2.

Nota: Para los atributos BMOS y PS se marca un umbral de balance neutro y pérdida de 5 Mg ha⁻¹ respectivamente. La línea punteada divide los atributos económicos (arriba) de los atributos ambientales (abajo).

3.5. Discusión de los resultados

Desde el punto de vista económico, el productor que aspira a obtener la mayor rentabilidad, necesita exponer la mayor cantidad de CT y asumir máximo RE lo cual coincide con resultados empíricos (Amador et al., 1998; Portillo et al., 2005) y con la propia teoría económica. Asimismo, esta estrecha relación entre CT y MBG ya ha sido reportada por de Prada et al., (2008) para la región centro-sur de Córdoba.

Sin embargo, la maximización de renta en el periodo 2 implica un aumento del MBG y reducción del riesgo para el EAP-A, aún cuando este haya reducido la diversidad de las opciones de producción. A priori, habría una contradicción respecto a la diversificación como medio de reducción del riesgo ampliamente reconocido por la literatura (Bravo-Ureta *et al.*, 2006; Huirne *et al.*, 2007; Portillo *et al.*, 2005). Sin embargo, junto al proceso de especialización se eliminó la actividad de mayor riesgo (Maní). Además, el mínimo riesgo que puede alcanzarse para el periodo 2 en el caso del sistema más especializado es 11 veces superior respecto a aquel logrado en el periodo 1, lo cual se mantiene en línea con la pérdida de capacidad de reducir el riesgo cuando el sistema se especializa y coincide con las referencias previamente citadas.

Por otro lado, todos los planteos de menor riesgo incluyen la ganadería, lo cual es reconocido por la literatura local, teniendo en cuenta que la incorporación de ciclos de pasturas estabilizan los resultados físicos (Viglizzo y Roberto, 1998) y reducen la variabilidad del resultado económico.

La combinación de alternativas que selecciona el modelo para generar resultados positivos en la dimensión ambiental es similar para diferentes atributos en el EAP-A durante el periodo 1. Un resultado análogo había sido señalado por de Prada et al., (2008) para la erosión y PS, aunque es contrario al conflicto encontrado entre indicadores ambientales de calidad de suelo en

relación a indicadores de calidad de agua por Lakshminarayan et al., (1995). En este sentido, la ausencia de un indicador que identifique el efecto de las decisiones sobre la cantidad y calidad de agua impide una comparación más precisa y define la necesidad de profundizar en este aspecto.

Asimismo, el aumento de rendimientos y el establecimiento de rotaciones con gramíneas son reconocidos como medios para aumentar la cobertura, reducir los procesos de erosión y aportar mayor cantidad de residuos al sistema suelo (Satorre, 2005). Las importantes mejoras en los atributos de PS y BMOS, sobre todo en el sistema de producción que más se especializó coinciden con esta tendencia. Es de destacar, sin embargo, que las ganancias de materia orgánica del suelo pueden ser parte de un proceso por el cual se recupera parte del carbono perdido en procesos de alto nivel de mecanización del pasado reciente (Matson et al., 1997), es decir que sería posible teniendo en cuenta los bajos niveles de partida en el carbono del suelo.

Sin embargo, mientras el alcance de los objetivos ambientales encontraba poco conflicto en el periodo 1, el medio para alcanzar la máxima producción de biomasa y, por ende, menor PS y mayor BMOS en el periodo 2 es un uso creciente de insumos, consecuentemente alta DE. Esto coincide con descripciones planteadas para sistemas de producción de nuestro país (Satorre, 2005) y del mundo (Meyer-Aurich, 2005; Pollan, 2009) y es destacado como un potencial problema en relación a la estabilidad y sustentabilidad productiva de estos sistemas (Hall, 2000; Viglizzo et al., 2001).

Ambos TD alcanzaron en el periodo 2 una mejora simultánea en los valores de MBG, PS y BMOS. Esto coincide con lo planteado por numerosos autores que indican que los cambios tecnológicos de la agricultura (dentro de los que se destaca la siembra directa, el aumento de rendimiento de cultivos a través de uso de fertilizantes químicos y los planteos de rotación con gramíneas), estabilizan un sistema que es más sustentable económica y ambientalmente (Casas, 2001; Derpsch, 2005). Este resultado es muy relevante, sobre todo si comparamos la PS para los dos EAP en ambos periodos, ya que los cambios operados permitieron un paso hacia sistemas de producción con niveles de PS por debajo de los tolerables de 5-10 Mg ha⁻¹ consignados por Foster (2004) y Casas (2001) respectivamente.

Sin embargo, la mejora en el MBG fue de la mano del aumento de insumos costosos energéticamente. Es por ello que dentro de las alternativas de producción actuales, no es posible maximizar la renta y simultáneamente reducir la dependencia de fuentes de energía externas al sistema. Este conflicto ha sido profusamente documentado en la literatura (Hall, 2000; Perelman, 1975; Pimentel, 1975) para sistemas con alta especialización en el uso de la tierra y puede ser considerado una de las principales amenazas para la sustentabilidad de los sistemas de producción de nuestra región.

En relación a la rotación, los planteos de máxima renta incluyen una mínima variedad de cultivos, identificándose a la especialización como una estrategia hacia maximizar el beneficio económico en el corto plazo. Esto coincide con una de las principales razones que la literatura (Bravo-Ureta et al., 2006) observa como desencadenante del proceso de especialización de cultivos.

Por el contrario, el modelo capta la entrada de la ganadería y mayor proporción de gramíneas dentro de los cultivos agrícolas cuando se optimizan los indicadores ambientales de minimización de PS y BMOS lo cual coincide con los beneficios de la ganadería con pasturas (Berzsenyi *et al.*, 2000; Dogliotti *et al.*, 2004; Eiza *et al.*, 2006) y de las gramíneas (Al-Kaisi *et al.*, 2005; Casas, 2006; Dogliotti *et al.*, 2004).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la evolución de atributos ambientales y económicos en dos EAP con diferencias importantes en su evolución. El EAP-A evoluciona de un sistema de producción mixto a uno agrícola puro, mientras que la EAP-M mantiene la ganadería como parte del sistema de producción. Mediante la utilización de las matrices de pago se analiza el conflicto entre criterios ambientales y económicos, la evolución de las fronteras de posibilidades, y los resultados alcanzado en los valores de los atributos por los EAP en dos periodos similares en términos climáticos, 1997 y 2006.

En primer lugar, el modelo muestra claramente el conflicto existente entre la rentabilidad económica y el resto de atributos económicos y ambientales en el periodo 1, mientras en el periodo 2 la rentabilidad económica va en la misma dirección de las mejoras en el control de las PS y aumento BMOS. La rentabilidad y el BMOS tienen mejoras significativas para los dos EAP entre periodos. La incorporación de labranza conservacionista en los sistemas y el aumento de la productividad de los cultivos han favorecido esta morigeración de los conflictos.

Otro hallazgo muy importante es la mayor DE de ambos EAP y el creciente conflicto entre indicadores ambientales en el segundo periodo. En este periodo, la DE entra también en conflicto con los otros dos objetivos ambientales. Las implicancias de estos hallazgos son que la reducción de la PS, mejora en los BMOS y aumento del MBG se han logrado en base a la mayor intensidad en la utilización de insumos externos (p.e. fertilizantes). Como resultado adverso, se han incrementado la DE, la necesidad de CT y el RE. Poniendo en evidencia la necesidad de explorar alternativas que consideren menor demanda de energía externa, así como estudiar en mayor detalle la eficiencia en la utilización de los insumos energéticos. En este sentido la ADM puede servir como modelo normativo para evaluar alternativas previo a la experimentación.

En general, el modelo selecciona sistemas de uso de la tierra más especializados y orientados hacia la agricultura para alcanzar el objetivo de maximizar la rentabilidad. En relación a la tenencia de la tierra, el modelo captura las diferencias entre planteos y rotaciones de campo propio y de campo alquilado, teniendo en cuenta las restricciones de rotación sólo se realizan en campo propio. Por lo tanto, en los casos en el que el modelo muestra parte de las tierras cedidas o tomadas en alquiler, éstas muestran una especialización agrícola en detrimento de la ganadería en los dos periodos y en ambos EAP. Más aún la especialización agrícola esta basada en cultivos oleaginosos, más rentable aunque con resultados más críticos en los otros atributos ambientales y económicos.

Por último, la evolución de los resultados alcanzado por los productores muestran conflictos similares aunque la intensidad es algo diferente entre EAP. Por un lado, entre periodo ambos EAP mejoran el valor de tres atributos: MBG, PS y BMOS, mientras que muestran desmejoras en el valor de los otros tres atributos: CT, RE y DE. Estos resultados son de mayor intensidad en la EAP-A, que especializó su sistema de producción. Esto es, el productor mejoró en forma más importante los atributos que tienen tendencia positiva pero también empeoró más intensamente aquellos cuya tendencia es negativa. Este efecto ocurre tanto en las fronteras de óptimos individuales como en los resultados reales alcanzado por el productor.

La mayor parte del camino avanzado en relación a la BMOS y PS tiene que ver con aumentos en la proporción de gramíneas en la rotación y cultivos de mayor rinde efecto directo sobre el MBG y mayores residuos, efecto directo sobre protección del suelo de la erosión y mayores aportes al ciclo del carbono. Sin embargo, estos cambios, más intensos en el EAP-A, implican el uso de mayor cantidad de insumos externos, con lo cual la DE se desmejora al igual que el RE y el CT. Aunque este último en cifras algo menores que lo que sucede para la EAP-M.

Estos resultados muestran como el ADM constituye una herramienta adecuada para explorar la evolución de la agricultura y el conflicto aún vigente sobre su sostenibilidad. También, muestra mediante la evolución los atributos resultados muy interesantes porque permite visualizar cuales son los atributos que presentan mejoras, como así también, desmejoras y la necesidad de incluir nuevas líneas de acción: alternativas productivas y técnicas que puedan mitigar aquellos atributos que desmejoran.

Aunque los resultados y las conclusiones arribadas son consistentes con otros resultados encontrados en la literatura, es importante notar algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, hemos trabajado en la modelación con dos casos perteneciente a TD que disponen de asesoramiento técnico, información experimental y dinámica de grupos, y sistemas de gestión profesionalizados. Por lo tanto, la generalización de los resultados debe ser muy cuidadosa. En segundo lugar, los atributos considerados en la gestión son rentabilidad económica y disponibilidad de capital de trabajo. Los otros atributos PS y DE son atributos que no son considerados por los sistemas de gestión. Por lo tanto, los resultados obtenidos son consecuencias indirectas de las decisiones y no buscada por los TD. La DE muestra solamente la utilización de insumos externos y no la producción de energía que permitiría tener una noción de balance y eficiencia de los actuales modelos de producción. Finalmente, el modelo ha sido limitado a un conjunto de atributos ambientales sin considerar otros que pueden ser relevantes actualmente, tales como la contaminación difusa (agroquímicos y fertilizantes) o las pérdidas de agua por escurrimiento superficial. Estas limitaciones constituyen parte de la agenda futura de investigación.

REFERENCIAS

- AACREA. 1990. NORMAS PARA MEDIR LOS RESULTADOS ECONÓMICOS EN LAS EMPRESAS AGROPECUARIAS.
- AACREA. 2007a. ANUARIO ESTADÍSTICO.



- AACREA. 2007b. SERIES DE PRECIOS 2.0. ÁREA DE ECONOMÍA DE AACREA.
- AACREA. 2009. BASE DE DATOS DE PRODUCCIÓN DE AGRICULTURA DE LA ZONA CENTRO (AGRIZOCE) 2005-09 - MAÍZ, TRIGO Y SOJA, Río Cuarto. Córdoba.
- AL-KAISI, M.M., X. YIN, y M.A. LICHT. 2005. SOIL CARBON AND NITROGEN CHANGES AS AFFECTED BY TILLAGE SYSTEM AND CROP BIOMASS IN A CORN-SOYBEAN ROTATION. *Applied Soil Ecology* 30: pp. 174-191.
- AMADOR, F., J.M. SUMPSI, y C. ROMERO. 1998. A NON-INTERACTIVE METHODOLOGY TO ASSESS FARMERS' UTILITY FUNCTIONS: AN APPLICATION TO LARGE FARMS IN ANDALUSIA, SPAIN. *European Review of Agricultural Economics* 25: pp. 92-109.
- ANGELI, A.R., J. DE PRADA, y J. CISNEROS. 2008. ANÁLISIS ECONÓMICO-AMBIENTAL DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS: ESTUDIO DE CASO CON DATOS PRIMARIOS DE UN ESTABLECIMIENTO AGROPECUARIO DEL SUR DE CÓRDOBA. *Revista Argentina de Economía Agraria* X: pp. 229-245.
- BERZSENYI, Z., B. GYORFFY, y D. LAP. 2000. EFFECT OF CROP ROTATION AND FERTILISATION ON MAIZE AND WHEAT YIELDS AND YIELD STABILITY IN A LONG-TERM EXPERIMENT. *European Journal of Agronomy* 13: pp. 225-244.
- BRAVO-URETA, B.E., H. COCCHI, y D. SOLÍS. 2006. OUTPUT DIVERSIFICATION AMONG SMALL-SCALE HILLSIDE FARMERS IN EL SALVADOR. Inter-American Development Bank Washington, D.C.
- CASAS, R.R. 2001. LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS Y LA SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires.
- CASAS, R.R. 2006. FACTORES CAUSALES DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN LA REGIÓN PAMPEANA. *Control de erosión en iberoamérica* 2: pp. 20-25.
- CRG. 2007. CARTILLAS Y REGISTROS DE GESTIÓN DEL ESTABLECIMIENTO AGROPECUARIO, AÑOS 1994 A 2006. AACREA - Región centro, Río Cuarto.
- DE KOEIJER, T.J., J.A. RENKEMA, y J.J.M. VAN MENSVOORT. 1995. ENVIRONMENTAL-ECONOMIC ANALYSIS OF MIXED CROP-LIVESTOCK FARMING. *Agricultural Systems* 48: pp. 515-530.
- DE PRADA, J. 2001. AN APPLICATION OF GOAL PROGRAMMING TO A SOIL EROSION CASE IN ARGENTINA, University of Connecticut, Connecticut.
- DE PRADA, J.D., T.-C. LEE, A.R. ANGELI, J.M. CISNEROS, y A. CANTERO. 2008. ANÁLISIS MULTICRITERIO DE LA CONSERVACIÓN DE SUELO: APLICACIÓN A UNA CUENCA REPRESENTATIVA DEL CENTRO ARGENTINO. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 9: pp. 45-59.
- DERPSCH, R. 2005. THE EXTENT OF CONSERVATION AGRICULTURE ADOPTION WORLDWIDE: IMPLICATIONS AND IMPACT. III World Congress on Conservation Agriculture.
- DEVOIL, P., W.A.H. ROSSING, y G.L. HAMMER. 2006. EXPLORING PROFIT - SUSTAINABILITY TRADE-OFFS IN CROPPING SYSTEMS USING EVOLUTIONARY ALGORITHMS. *Environmental Modelling & Software* 21: pp. 1368-1374.
- DIAZ-ZORITA, M., G.A. DUARTE, y J.H. GROVE. 2002. A REVIEW OF NO-TILL SYSTEMS AND SOIL MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE CROP PRODUCTION IN THE SUBHUMID AND SEMIARID PAMPAS OF ARGENTINA. *Soil and Tillage Research* 65: pp. 1-18.
- DOGLIOTTI, S., W. ROSSING, y M.K. VAN ITTERSUM. 2004. SYSTEMATIC DESIGN AND EVALUATION OF CROP ROTATIONS ENHANCING SOIL CONSERVATION, SOIL FERTILITY AND FARM INCOME: A CASE STUDY FOR VEGETABLE FARMS IN SOUTH URUGUAY. *Agricultural Systems* 80: pp. 277-302.
- EIZA, M., G. STUDDERT, y G. DOMINGUEZ. 2006. DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO BAJO ROTACIONES MIXTAS XX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, Salta.
- FOSTER, G.R. 2004. REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION VERSION 2. User's reference guide. USDA, Washington D.C.
- HALL, C.A.S. 2000. THE THEORIES AND MYTHS THAT HAVE GUIDED DEVELOPMENT, *En* Quantifying sustainable development. The future of tropical economies. Academic Press, New

York, pp. 736.

HUIRNE, R., M. MEUWISSEN, y M. ASSELDONK. 2007. IMPORTANCE OF WHOLE-FARM RISK MANAGEMENT IN AGRICULTURE, *En Handbook of operations research in natural resources*, pp. 3-15.

JARSÚN, B., J.A. GORGAS, E. ZAMORA, H. BOSNERO, E. LOVERA, A. RAVELO, y J.L. TASSILE. 2003. RECURSOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. Los suelos - nivel de reconocimiento 1:500.000, Córdoba, pp. 512.

JENKINSON, L., y K. COLEMAN. 1999. ROTHAMSTED CARBON MODEL 26.3.:

KELLY, T.C., Y.-C. LU, y J. TEASDALE. 1996. ECONOMIC-ENVIRONMENTAL TRADEOFFS AMONG ALTERNATIVE CROP ROTATIONS. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60: pp. 17-28.

LAKSHMINARAYAN, P.G., S.R. JOHNSON, y A. BOUZAHER. 1995. A MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO INTEGRATING AGRICULTURAL ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL POLICIES. *Journal of Environmental Management* 45: pp. 365-378.

LU, C.H., y M.K. VAN ITTERSUM. 2004. A TRADE-OFF ANALYSIS OF POLICY OBJECTIVES FOR ANSAI, THE LOESS PLATEAU OF CHINA. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 102: pp. 235-246.

MATSON, P.A., W.J. PARTON, A.G. POWER, y M.J. SWIFT. 1997. AGRICULTURAL INTENSIFICATION AND ECOSYSTEM PROPERTIES. *Science* 277: pp. 504-509.

MEYER-AURICH, A. 2005. ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF SUSTAINABLE FARMING PRACTICES - A BAVARIAN CASE STUDY. *Agricultural Systems* 86: pp. 190-206.

MONTICO, S., B.A. BONEL, N.C. DI LEO, M.S. VILCHE, y J.A. DENOIA. 2006. BALANCE DE AGUA Y ENERGÍA DE LOS CULTIVOS EN LA CUENCA DEL ARROYO LUDUEÑA, ARGENTINA. *Ciencia e Investigación Agraria* 33: pp. 225-236.

PERELMAN, M. 1975. THE REAL AND FICTITIOUS ECONOMICS OF AGRICULTURE AND ENERGY, *EN ENERGY, AGRICULTURE AND WASTE MANAGEMENT*. Ann Arbor Science, Ithaca, New York, pp. 540.

PIMENTEL, D. 1975. WORLD FOOD, ENERGY, MAN AND ENVIRONMENT, *En Energy, agriculture and waste management*. Ann Arbor Science, Ithaca, New York, pp. 540.

POLLAN, M. 2009. CARTA AL AGRICULTOR EN JEFE. *Tecnología & Buen Gobierno* 2 (2009).

PORTILLO, J.A., P. SANTIAGO, y M. PECAR. 2005. TEORÍA DE PORTAFOLIO: UTILIZACIÓN PARA EVALUAR LOS RIESGOS AGROPECUARIOS. *Revista Argentina de Economía Agraria* VIII: pp. 72-88.

SATORRE, E. 2005. CAMBIOS TECNOLÓGICOS EN LA AGRICULTURA ARGENTINA ACTUAL. *Ciencia hoy* 15(87):24-31.

SCHNIEDERJANS, M.J. 1994. GOAL PROGRAMMING: METHODOLOGY AND APPLICATIONS. Kluwer Academic Publishers, Nebraska-Lincoln, pp. 219.

SUMPSI, J.M., F. AMADOR., y C. ROMERO. 1996. ON FARMER'S OBJECTIVES: A MULTICRITERIA APPROACH. *European Journal of Operational Research* 96: pp. 64-71.

VIGLIZZO, E., y Z.E. ROBERTO. 1998. ON TRADE-OFFS IN LOW-INPUT AGROECOSYSTEMS. *AGRICULTURAL SYSTEMS* 56: pp. 285-264.

VIGLIZZO, E.F., F. LERTORA, A.J. PORDOMINGO, J.N. BERNARDOS, Z.E. ROBERTO, y H. DEL VALLE. 2001. ECOLOGICAL LESSONS AND APPLICATIONS FROM ONE CENTURY OF LOW EXTERNAL-INPUT FARMING IN THE PAMPAS OF ARGENTINA. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83: pp. 65-81.