



Análisis multicriterio de la conservación de suelo: Aplicación a una cuenca representativa del centro argentino

Jorge Dante de Prada*

Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36, km 601. Río Cuarto (5800) Córdoba, Argentina

jdeprada@ayv.unrc.edu.ar

Tsung-Chao Lee

Departamento de Economía Agraria y Recursos, Universidad de Connecticut, EEUU. W. B Young Building Room 3231376 Storrs Road, Unit # 4021 Storrs, CT 06269-4021, EEUU

tsoung@uconnvm.uconn.edu

Ariel Ricardo Angeli

Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36, km 601. Río Cuarto (5800) Córdoba, Argentina

aangeli@ayv.unrc.edu.ar

José Manuel Cisneros

Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36, km 601. Río Cuarto (5800) Córdoba, Argentina

jcisneros@ayv.unrc.edu.ar

Alberto Cantero G.

Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36, km 601. Río Cuarto (5800) Córdoba, Argentina

acantero@ayv.unrc.edu.ar

Fecha de recepción: 04/10/2007. Fecha de aceptación: 17/07/2008

Resumen

La erosión de suelos (ES) es reconocida como uno de los problemas más importantes de la agricultura, con impactos económicos y ambientales dentro y fuera del establecimiento agropecuario en el sur de Córdoba, Argentina. El objetivo de este trabajo es cuantificar el costo económico que tendría incrementar la conservación de suelos (CS) para el productor agropecuario en su establecimiento en diferentes escenarios (E): E1) el productor conoce el costo de ES; E2) desconoce el costo de ES; y E3) conoce el costo de ES y adhiere a la política CS provincial. La programación por meta y un modelo de 6 atributos, 18 restricciones y 72 variables de decisión es utilizada para un productor del sur de Córdoba, Argentina. Los resultados muestran diferencias en el grado de conflicto entre la rentabilidad y la CS, siendo más importante en el E2, mientras que el productor alcanza el 78% de la CS sacrificando menos del 10% de la rentabilidad en E1 y E3 respectivamente.

* Autor de contacto.



Palabras clave: Erosión de suelo; impacto económico y ambiental; agricultura sostenible; política de conservación de suelo; Córdoba; Argentina.

Abstract

Soil erosion (SE) is one of the most important problems of agriculture, with economic and environmental impacts: on and off-farm in the south of Córdoba, Argentina. In this paper, the cost on farm of increasing soil conservation (SC) for different scenarios is quantified: in Scenario 1) the farmer knows the cost of SE, in S2) he does not know it, and in S3) he knows it and adheres to the state policy of SC. Goal programming with a model (6 goals, 18 restrictions and 72 decision variables) is used for a farmer located in the south of Córdoba, Argentina. The result shows different level of conflicts between profit and SC goals. That is more important in S2 when the farmer ignores on farm economic impacts. In S1 and S3, the farmer can achieve 78% of SC by reducing less than 10% of profit.

Key words: Soil erosion; profit-environment tradeoff; sustainable agriculture; policy of soil conservation; Córdoba, Argentina.

1. Introducción

La erosión de suelo (ES) reduce la productividad de la tierra y amenaza la viabilidad ambiental y económica de los sistemas de producción agropecuaria con mayor incidencia en los países en desarrollo debido a su alto grado de dependencia de productos de origen agropecuario (Eaton 1996; Lal 2000). La ES altera las propiedades del suelo ligadas a la producción, como la capacidad de transferir y almacenar agua entre horizontes, la disponibilidad de nutrientes, la agregación y estabilidad del suelo, la disponibilidad de materia orgánica entre otras (Lal 2000). Debido a esta multiplicidad de efectos, la ES se constituye en uno de los principales procesos de degradación de las tierras. En el mundo, las tierras afectadas por erosión hídrica alcanzan las 1.094 millones de hectáreas, de las cuales cerca de un 75% están severamente dañadas (Lal 2003).

En Argentina, la ES también constituye uno de los problemas más importantes para el desarrollo de una agricultura más sostenible (Kugler et al. 1988; Gil et al. 2006). De hecho, existen alrededor de 60 millones de hectáreas afectadas por ES abarcando el 20% de la superficie de nuestro país (Kugler et al. 1988; Casas 2001). Más específicamente, en el centro-sur de la provincia de Córdoba la ES se ha vuelto más intensa debido a la expansión de la frontera agrícola, tenencia de la tierra, y tecnología de cultivos no ajustada a las condiciones de fragilidad de los ecosistemas (Becerra et al. 1992; Cantero G. et al. 1998; de Prada et al. 2005).

El productor agropecuario es el principal responsable y víctima de la degradación de las

tierras debido a que decide el uso y manejo del suelo, y la utilización o no de prácticas de conservación de suelo (CS). Varios estudios plantean el conflicto entre objetivos económicos y ambientales en la toma de decisiones (e.g. Sumpsi et al. 1997; Ballesteros & Romero 1998; Tamiz et al. 1998; Gómez-Limón & Berbel 1999; Hayashi 2000; Gómez-Limón et al. 2003). En este sentido, se podría considerar, que el peso dado a la CS en la toma de decisión es bajo o compromete la rentabilidad económica de la explotación. En contraste, otros autores consideran que existe un margen amplio de mejora de los indicadores ambientales con baja resignación de la rentabilidad (Van Leeuwen et al. 2001; Meyer-Aurich 2005). Sin embargo, desconocemos para los productores agropecuarios de Argentina cuáles son los conflictos entre indicadores ambientales y económicos y el margen posible de mejora.

El objetivo de este estudio es cuantificar los conflictos existentes entre objetivos económicos y ambientales para un productor representativo del centro-sur de Córdoba y determinar la curva de transformación entre la rentabilidad económica y la CS bajo diferentes escenarios.

Los escenarios (E) considerados son: E1) el productor conoce el costo de la ES; E2) el productor desconoce costo de la ES, y E3: el productor conoce el costo de la ES y adhiere a la política de CS de la provincia de Córdoba.

Las principales contribuciones de este artículo son: a) la identificación y cuantificación de los conflictos existentes entre objetivos ambientales y económicos, b) la cuantificación de las compensaciones económicas



necesarias para el alcance de determinados niveles de CS en el área bajo estudio, y c) la determinación de la influencia de la política de CS provincial sobre la curva de transformación entre rentabilidad económica y CS.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio está localizada en la pedanía San Bartolomé, Departamento de Río Cuarto, en la cuenca del arroyo Santa Catalina de la provincia de Córdoba. Las actividades económicas principales son agricultura y ganadería con una especialización creciente hacia los cultivos oleaginosos, específicamente soja. Aunque la ES es importante y tiene efectos dentro y fuera del establecimiento (Cantero Gutierrez et al. 1998; Cisneros et al. 2005), la mayoría de los productores no utiliza prácticas de CS (Cisneros et al. 2005).

La fisiografía del área de estudio corresponde a llanuras suavemente onduladas con un gradiente promedio de pendiente de 1,5% (provisto en archivo magnético por A. Degioanni). Los suelos predominantes son bien drenados de textura franco arenosa muy fina y con elevada susceptibilidad a la erosión hídrica (Jarsún et al. 2003). El suelo descrito por este autor denominado Hapludol típico, serie La invernada es utilizado en la modelación. El clima del sector corresponde al tipo templado subhúmedo con estación seca en invierno, con un promedio de precipitaciones de 783 mm (Cantero G. et al. 1998).

2.2. Método y datos

El método utilizado es la programación por meta ponderada, uno de las técnicas más usadas en el análisis multicriterio (Hayashi 2000). El modelo matemático consiste en un conjunto de funciones (atributos-objetivos y restricciones) que dependen de las variables de decisión que el productor controla.

En primer lugar, se determinaron los posibles atributos y objetivos de la explotación agropecuaria, las variables de decisión y las

restricciones que enfrenta el productor, identificando aquellos relevantes desde el punto de vista económico y ambiental (Sumpsi et al. 1997). Se determina el valor de las variables de decisión y los atributos optimizando un solo objetivo por vez y con ello se construye la matriz de pago (Van Leeuwen et al. 2001).

En segundo lugar, se simula qué haría un productor ante posibles alternativas tecnológicas y productivas, para diferentes escenarios: en el E1, el productor conoce el costo de pérdida de suelo, estimado en 13,86 \$c/Mg (de Prada et al. 2005); en el E2, el productor desconoce el costo de la pérdida de suelo; y en el E3: el productor conoce costo de la pérdida de suelo y adhiere a la política de CS de la provincia de Córdoba (Ley 8863). Esta política permite al productor agropecuario que sistematiza el campo con terrazas diferir el impuesto inmobiliario provincial (ver mayores detalles de Prada et al. 2007). Para incorporar la política CS en el modelo, se estima un pago equivalente anual al diferimiento impositivo y el costo por la realización de las terrazas.

Los atributos seleccionados son: el margen bruto global (MBG); riesgo económico (RE); erosión de suelo (ES); pérdida de suelo (PS); capital de trabajo (CT); y un índice de dificultad del sistema productivo (ID) (Amador et al. 1998; Hayashi 2000; Sumpsi et al. 1997; van Calker et al. 2006).

El MBG de la empresa es utilizado para representar la rentabilidad económica de la empresa y es estimado mediante la suma de los márgenes brutos por actividad. La estimaciones se realizan con precios constantes a julio de 2005 (AACREA 2005). El RE es estimado por la varianza del MBG (Portillo et al. 2005). La varianza y covarianza del ingreso menos los costos de comercialización y cosecha se estimaron con datos provenientes de rendimientos, precios, gastos de comercialización de los últimos 30 años en la provincia de Córdoba (SAGPyA 2006). El CT, medido en \$c/año, es la disponibilidad de dinero o efectivo que el productor necesita para cubrir los gastos de producción.



ES y PS, medidas en Mg/año, son calculadas utilizando la Ecuación Universal de Erosión de Suelo Revisada, segunda versión, RUSLE 2 (Cisneros et al. 2004; Foster 2004). La PS es la cantidad de suelo removida por el agua y transportada desde un sitio particular, mientras ES es la cantidad de sedimentos que llega a un sitio de interés. Las labranzas y tipo de cultivo determinan la PS y esta es la variable relacionada con la productividad. Las prácticas de CS y agua como terrazas y franjas buffer reducen la ES y por lo tanto la externalidad negativa de la agricultura.

El ID del sistema de producción es un atributo que mide la complejidad del sistema (Sumpsi et al. 1997). El índice es aditivo de las labranzas, prácticas de CS y otras prácticas productivas. Una escala entre 1 y 10 (menor a mayor dificultad) fue usada para representar cada práctica requerida por la actividad productiva seleccionada. Los valores unitarios utilizados en el modelo para los atributos citados se muestran en el Anexo 1.

Las diferencias entre los altos y bajos rendimientos en los cultivos agrícolas se establecieron por diferencias en: fertilización, tipo de semillas utilizadas, y control de plagas en los cultivos. Los altos rendimientos fueron tomados de las Revista Agro Mercado, Mayo 2006 y los bajos rendimientos promedios de la pedanía de Río Cuarto (SAyG-MP 1999). Para las pasturas, los datos de raciones entregadas según la calidad de las mismas fueron tomados de los datos del CREA Washington-Mackenna (Bavera et al. 2005). En la invernada bovina, las diferencias de alto y bajo rendimiento dependen de los parámetros físicos: duración de la invernada, calidad de los alimentos, mientras en la cría bovina las diferencias se marcan principalmente en el manejo reproductivo y alimenticio.

2.3. Variables de decisión

Las variables de decisión consideradas son las siguientes:

- Tierra, medida en ha, asignada a los cultivos: soja, maíz, girasol o trigo, con alto o bajo rendimiento, realizados con labranza convencional o siembra directa y distintas

alternativas de prácticas de CS (franja buffer, terrazas o sin práctica de CS).

- Tierra, ha, asignada a: alfalfa o festuca, con o sin prácticas de CS, y a forrajeras avena y sorgo con las alternativas de labranza y prácticas de CS citadas.
- Ganadería bovina de cría o invernada, medidas en equivalentes vaca, producida con alta y baja niveles de producción.
- Tierra, ha, tomada en alquiler.

2.4. Restricciones

Para el cálculo de las matrices de pago, se tuvo en cuenta un mínimo MBG de \$c 192.000 –como restricción–, valor que representa el ceder la tierra a terceros (480 ha de tierra a \$c/ha 400. La asignación de uso de la tierra a los cultivos y a las prácticas de CS debe ser igual o menor a la tierra disponible más la arrendada.

En relación al capital de explotación se utiliza como equipamiento crítico al equipo de siembra, y se tiene en cuenta una duración del período óptimo de siembra de 15 días para la siembra de maíz, 20 para la de soja y 17,5 para la de girasol, y 10 horas por día laborable. Los cálculos de capacidad operativa se realizan para una velocidad de siembra de 6 km/hora con un ancho efectivo de labor de 3,5 m. Para siembra directa y debido a la mayor dificultad de siembra, los tiempos se incrementan arbitrariamente en un 20 %.

La restricción de trabajo tiene en consideración que el tiempo de trabajo que demandan los cultivos y actividades ganaderas debe ser menor o igual al tiempo disponible de mano de obra de la explotación (incluido tanto el trabajo familiar como el asalariado). En el área de estudio, las explotaciones agropecuarias en promedio tienen 1,7 hombres por establecimiento agropecuario de acuerdo con datos del Censo Agropecuario Nacional, 2002. Se consideró un equivalente hombre igual a 2.500 horas por hombre por año. Por lo tanto, la disponibilidad de mano de obra es de 4.285 horas distribuidas en forma proporcional a los meses del año.



La restricción de rotación indica que la sumatoria de superficie dedicada a soja y girasol (oleaginosas) no puede ser mayor que la mitad del total de de la superficie en operación.

La oferta forrajera más los suplementos en cada estación del año debe ser mayor o igual la demanda de alimento para la producción ganadera.

3. Resultados y discusión

En este apartado se analizan los resultados en valores absolutos obtenidos en el E1 que posteriormente se utiliza como referencia relativa para comparar con los resultados obtenidos en los otros dos escenarios.

3.1. Análisis de matriz de pago: Escenario 1 referencia

En el E1: el productor conoce el costo de la pérdida de suelo. La matriz de pago se muestra en la Tabla 1. Las filas indican el objetivo optimizado y las columnas indican el valor alcanzado por los atributos. Los valores en la diagonal de la matriz muestran el valor óptimo (máximo o mínimo) de cada atributo. Se observa que la rentabilidad económica está en conflicto con todos los demás objetivos. El máximo MBG se logra conjuntamente con el mayor RE, máximas PS, ES, mayor necesidad de CT y máximo ID.

En sentido estrictamente económico, estos resultados son consistentes con la teoría

económica y los resultados empíricos encontrado por otros autores (e.g. Amador et al. 1998; Riesgo & Gómez-Limón 2006). La rentabilidad económica es un atributo en conflicto con el RE y CT. Esto implica que el productor que aspira a tener mayor rentabilidad corre más riesgo y necesita mayor cantidad de CT. Amador et al. (1998) halló que la ponderación de estos atributos MBG, RE y CT en los modelos representan mejor las decisiones del productor que los modelos de maximización de rentabilidad como único atributo.

En la dimensión ambiental, se observa en la matriz de pago que la PS y ES son atributos que se mueven en la misma dirección y con menor nivel de conflicto con la minimización del RE, CT y el ID (véase Tabla 1). El modelo considera la PS como insumo normal de la producción y consecuentemente el máximo valor económico \$c 322 mil se logra con utilizar el máximo nivel de este insumo 1.717 Mg.

3.2. Sistemas de producción y control de erosión de suelo en el Escenario 1

El sistema de producción y el control de la erosión en el E1 dependen del atributo optimizado y los resultados se muestran consistentes con los hallados por otros autores. Los valores que toman las variables de decisión de uso de la tierra para cada uno de los escenarios de optimización de los atributos se observan en la Tabla 2.

Tabla 1: Valor de los atributos de la matriz de pago en el Escenario 1

Objetivo	Margen Bruto Global \$cx1000	Riesgo \$c2x1.000.000	Pérdida de suelo Mg/año	Erosión de suelo Mg/año	Capital de trabajo \$cx 1.000	Índice de dificultad
Maximizar rentabilidad	322,1	5.382	1.717	1.717	357	17.057
Minimizar riesgo	192	175	1.196	586	191	14.746
Minimizar pérdida de suelo	192	709	213	72	161	7.317
Minimizar erosión de suelo	192	975	265	64	170	7.280
Minimizar capital de trabajo	192	417	1.152	1.130	115	13.078
Minimizar índice de dificultad	192	1.152	752	752	153	4.196

Fuente: Elaboración propia



Cuando los objetivos a optimizar son los relacionados a la PS, ES e ID, el modelo deja sin utilizar parte de la tierra, utilizando sólo la necesaria para alcanzar el MBG mínimo, establecido como restricción. En contraste, cuando el objetivo es maximizar la rentabilidad económica, el productor alquila tierra a terceros para incrementar su escala de producción hasta utilizar toda la capacidad de maquinaria disponible.

Si el objetivo es maximizar la rentabilidad económica, el modelo asume la máxima utilización posible de tierra para el cultivo de soja, mientras que el resto de la tierra se utiliza para maíz y pasturas perennes de alta calidad para invernada. Cuando el objetivo es minimizar el RE, el modelo incorpora una mayor diversificación en las actividades productivas, lo cual se condice con una de las estrategias de reducción de riesgo planteadas en la literatura (e.g. Portillo et al. 2005). Cuando los objetivos son minimizar la PS y ES, las gramíneas entran en mayor proporción en la rotación respecto a los demás cultivos, lo cual coincide con lo planteado por varios autores que la mayor inclusión de oleaginosas en sistema de cultivos es una de las causas de mayor erosión de suelo en la región (Altieri & Pengue 2006; Cisneros et al. 2004; de Prada et al. 2005). Si el objetivo a optimizar es el CT, el modelo cambia el uso de la tierra hacia

girasol y pasturas de baja calidad, que necesita menos gastos para hacer frente al proceso productivo. Por último, si el objetivo es minimizar la dificultad del sistema, el modelo elige la mínima cantidad de actividades productivas y todas agrícolas. Este resultado es consistente con estrategias empresariales utilizada por los productores (e.g. Ficco 2006).

En todos los casos, la siembra directa se muestra como superadora respecto a la labranza convencional por sus menores costos, menores niveles de PS y ES y menor dificultad asociada a menores cantidades de tareas para llevar adelante un cultivo bajo este sistema de labranza. Este resultado es consistente con la amplia difusión de la siembra directa en Argentina (Trigo & Cap 2003).

Las prácticas de CS (véase Tabla 3) ocupan mayor proporción del campo cuando los objetivos están relacionados a minimizar PS, ES y RE, mientras la superficie con prácticas de CS es menor cuando se busca maximizar la rentabilidad económica, minimizar CT o ID.

En síntesis, el modelo representa apropiadamente los sistemas de producción y la utilización de prácticas de CS de acuerdo al criterio optimizado.

Tabla 2. Uso del suelo en el Escenario 1: el productor conoce el costo de pérdida de suelo

Objetivo	Soja ha	Maíz Ha	Trigo Ha	Girasol ha	Alfalfa Ha	Avena Ha	Festuca ha	Franja buffer ha	Tierra utilizada ha	Tierra alquilada ha
Maximizar rentabilidad	333	250	0	0	83	0	0	0	667	187
Minimizar riesgo	12	33	234	98	19	54	0	29	479	0
Minimizar pérdida de suelo	0	250	0	78	0	0	0	33	361	0
Minimizar erosión de suelo	77	250	0	0	0	0	0	33	359	0
Minimizar capital de trabajo	0	51	0	240	0	0	184	5	480	0
Minimizar índice de dificultad	145	145	0	0	0	0	0	0	289	0

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3. Prácticas de conservación de suelos en el Escenario 1

	Prácticas de conservación Ha	Sin prácticas de conservación ha	Tierra utilizada ha
Maximizar rentabilidad	83	583	667
Minimizar riesgo	336	143	479
Minimizar pérdida de suelo	361	0	361
Minimizar erosión de suelo	359	0	359
Minimizar capital de trabajo	56	424	480
Minimizar índice de dificultad	0	289	289

Fuente: Elaboración propia

3.3. Análisis comparado de los atributos para los diferentes escenarios de conservación de suelos

La Tabla 4 muestra los niveles alcanzados de los objetivos con una escala 0-100. El valor 100% es máximo nivel posible a alcanzar para un objetivo dado, mientras que el valor 0% representa el valor de mínimo. Por ejemplo, de la Tabla 1, para el objetivo minimizar la pérdida de suelo el valor 100% representa la menor pérdida de suelo equivalente a 213 Mg/año, mientras el valor 0% es la máxima pérdida de suelo 1717 Mg/año. Se toma como referencia el E1 para hacer los datos comparables con los otros escenarios. Los restantes valores se encuentran por interpolación lineal. Los valores negativos en el E2 (ignora el costo de la PS) significan un nivel de satisfacción menor que el mínimo del E1, mientras que los valores mayor que 100 significa un valor más alta de satisfacción que el obtenido en el E1.

El modelo muestra un MBG mayor en el E2 que en el E1 (véase detalle Fila 1 de E1 y E2 en la Tabla 4). En el E2, cuando el productor maximiza rentabilidad el MBG alcanza \$c356 mil. Esta ilusión económica, estimada por el modelo en un MBG mayor del 26%, manifiesta la ignorancia de la relación PS-productividad y el efecto de estos sobre la producción. De hecho, si se considera el costo de la PS el MBG que percibiría el productor es de \$c282 mil debido a que la pérdida de suelo en términos absolutos se ha triplicado (de 1.717 Mg/año en el E1 a 5.333

Mg/año en el E2). También, se aprecia que en el E2 los otros atributos presentan fuertes desmejoras (superiores al 65% en CT y mayor al 200% para ES).

Este hallazgo es importante considerando que es probable que el productor desconozca el costo de la ES (E2) debido a que la conexión entre ES, PS, pérdida de fertilidad y productividad no es muy perceptible (Olson et al. 1994). De hecho, el productor individualmente no dispone de la información sobre ES y PS en su propio campo y menos aún el precio. En realidad, el precio sombra de la erosión de suelo normalmente es estimado por procedimientos ad-hoc experimentales o econométricos que distan del alcance inmediato del productor. Consecuentemente, el modelo bajo el E2 posiblemente represente apropiadamente la toma de decisión del productor.

Este resultado es consistente con los argumentos planteado por Stocking & Tengberg (1999) cuando comparan el comportamiento económico de los productores para dos situaciones contrastante de erosión de suelo entre Brasil y Argentina. Si el productor no reconoce la relación PS – productividad y las PS son relativamente bajas, como en nuestro caso, existe una alta probabilidad que el productor no controle la ES.

De allí, la importancia para la política de CS de hacer disponible este conocimiento sobre el costo de la PS a nivel de productor. En la medida que el productor reconozca el impacto de la PS sobre la productividad y lo incorpore a la toma decisiones se reducirá significativamente el nivel de ES aún en el caso que el productor solo maximice rentabilidad.

En la Tabla 4, también se aprecia que en el E3 la política de CS prácticamente no mejora los niveles óptimos de los atributos cuando se lo contrasta con el E1 en términos económicos, pero reduce los conflictos entre los atributos. El modelo muestra un cambio prácticamente insignificante cuando el productor maximiza la rentabilidad, donde tendría un MBG mayor en un 1% con respecto al E1. Sin embargo, el conflicto entre



MBG y los objetivos ambientales se reduce significativamente en el E3. Por ejemplo, cuando el productor maximiza el MBG, el modelo estima un control de la PS del 56% y de la ES del 80%, mayores que las PS y ES en el E1 respectivamente. Además, se observa que a excepción del MBG, los mínimos niveles de satisfacción de los otros criterios son mayores en el E3. De hecho, el mínimo nivel de satisfacción de los atributos RE, PS, ES, CT, ID es 37%, 38%, 36%, 39% y 31% respectivamente mayor que el alcanzado en el E1. Si el productor adhiere a la política CS prácticamente reduce el conflicto entre los atributos identificados y mantiene el mismo nivel de rentabilidad que en el E1.

Este hallazgo también es importante: las PS y ES se reducen significativamente si el productor recibe un pago equivalente al diferimiento impositivo establecido en la Ley provincial aún en el caso que el productor solo maximice rentabilidad. De hecho, la política CS evitaría pérdidas de rentabilidad por la adopción de prácticas que controlan la ES. El costo asociado a la realización de estas prácticas estructurales es citado como una causa de la baja adopción por Bravo-Ureta et al. (2006). En este sentido, una política CS podría inducir a los productores a adoptar prácticas de CS estructurales sin sacrificar la rentabilidad económica. Sin embargo, es importante notar que este escenario supone que el productor imputa el costo de ES.

Tabla 4: Matrices de pago para los Escenarios 1, 2 y 3 en escala 0-100

Escenario	Objetivo	Nivel alcanzado de las diferentes metas					
		Margen Bruto Global	Riesgo	Pérdida de suelo	Erosión de suelo	Capital de trabajo	Índice de dificultad
1	Maximizar rentabilidad	100%	0%	0%	0%	0%	0%
	Minimizar riesgo	0%	100%	35%	68%	69%	18%
	Minimizar pérdida de suelo	0%	90%	100%	100%	81%	76%
	Minimizar erosión de suelo	0%	85%	97%	100%	77%	76%
	Minimizar capital de trabajo	0%	95%	38%	36%	100%	31%
	Minimizar índice de dificultad	0%	81%	64%	58%	84%	100%
2	Maximizar rentabilidad	126%	-19%	-240%	-219%	-65%	-122%
	Minimizar riesgo	0%	101%	-52%	-48%	50%	-34%
	Minimizar pérdida de suelo	0%	90%	100%	100%	81%	76%
	Minimizar erosión de suelo	0%	85%	97%	100%	78%	77%
	Minimizar capital de trabajo	0%	96%	32%	30%	106%	24%
	Minimizar índice de dificultad	0%	83%	67%	61%	88%	102%
3	Maximizar rentabilidad	101%	37%	56%	80%	39%	65%
	Minimizar riesgo	0%	100%	42%	75%	77%	60%
	Minimizar pérdida de suelo	0%	90%	100%	100%	81%	76%
	Minimizar erosión de suelo	0%	87%	91%	101%	74%	84%
	Minimizar capital de trabajo	0%	95%	38%	36%	100%	31%
	Minimizar índice de dificultad	0%	81%	64%	58%	84%	100%

Fuente: Elaboración propia



Para apreciar mejor las implicancias de estos hallazgos se muestran los valores del MBG, ES y PS en la Tabla 5 considerando que el productor optimiza solamente la rentabilidad. Sin lugar a dudas, el desconocimiento del costo de ES (E2) triplica la PS y ES (pasando de 1.717 a 5.333 Mg/año). Comparando el E3 con el E1, la PS se reduce a la mitad (pasando de 1717 a 875 Mg/año) y la ES al 23% aproximadamente (pasando de 1717 a 393Mg/año).

Tabla 5. Rentabilidad y conservación de suelos para diferentes escenarios

Escenario	Margen Bruto Global \$cx1000	Pérdida suelo Mg/año	Erosión suelo Mg/año
1	322,1	1.717	1.717
2	355,8 (281,9)*	5.333	5.333
3	323,9	875	393

Fuente: Elaboración propia

Nota: * El valor entre paréntesis en el E2 indica el MBG si se imputa el costo de PS

En el próximo apartado exploramos con mayor profundidad la relación de conflicto entre control de la ES y MBG

3.4. Curva de transformación entre servicio ambiental y economía

Desde el punto de vista social, podemos considerar el control de la ES como un servicio ambiental que reduce la externalidad negativa que causa el productor a terceros (véase detalles Clark II et al. 1986), y por lo tanto será valorada positivamente por la sociedad. La curva de transformación entre ambos MBG y control de ES, permitirá dilucidar cuál es el sacrificio que debe realizarse en términos de MBG para mejorar el servicio ambiental. La curva de transformación se calcula ponderando en forma diferencial los objetivos maximizar MBG y minimizar la ES y asumiendo que el productor utiliza la totalidad de la tierra y puede alquilar tierra a terceros.

Los resultados de las estimaciones de la curva de transformación en el E1 se muestran en la Tabla 6. Es posible controlar la ES en un 78% y alcanzar el 90% del MBG. Es decir, se puede reducir la ES de 2,58 Mg/ha a 0.69 Mg/ha resignando el 10% del MBG \$c21.564. También, se observa que la resignación posterior de una misma cantidad del MBG,

produce mucho menor cambio en el control de ES.

Tabla 6. Puntos eficientes de erosión suelo y margen bruto global con diferentes ponderaciones de las metas: Escenario 1

Margen bruto global		Erosión suelo	
%	\$c x 1000	Mg/ha	Control
100%	322,0	2,58	0,00%
90%	300,6	0,69	78,10%
80%	279,0	0,26	96,13%
70%	257,5	0,22	97,57%
60%	235,9	0,21	97,93%
50%	214,3	0,21	98,28%
40%	192,8	0,20	98,64%
30%	171.205	0,19	99,00%
20%	149.641	0,18	99,36%
10%	128.077	0,17	99,71%
0%	106.513	0,16	100,00%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1, se muestra las curvas de transformación para los tres escenarios. Si el productor reconoce el costo de la ES (véase Figura 1.a), se puede apreciar en qué medida se reduce el control de la ES al aumentar la rentabilidad. Se observa que el conflicto entre estos dos atributos es relativamente bajo.

En contraste con el E1, si el productor no reconoce el costo de la ES (véase Figura 1.b) aparentemente obtiene mayor rentabilidad. De hecho, el MBG alcanza los \$c355 mil en el E2 versus \$c322 del E1. Sin embargo, si imputamos el costo de la PS (línea punteada de la figura 1.b) observamos que para este nivel de rentabilidad la ilusión económica también es máxima (en realidad el margen bruto es de \$c282 mil). La ilusión económica se reduce en la medida que aumenta el control de la ES hasta desaparecer, cuando ésta alcanza aproximadamente el 90% (véase Figura 1.b).

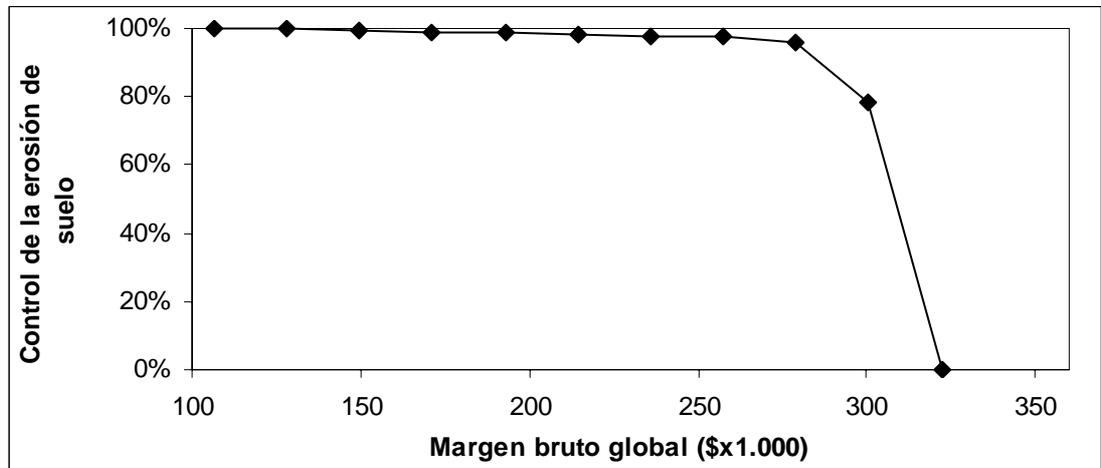
La curva de transformación en la Figura 1.c muestra el escaso conflicto entre el control de la ES y la rentabilidad cuando el productor percibe los beneficios de la política de CS. De hecho, logra el 97% del control de la ES y la rentabilidad alcanza los \$c320mil.

El comportamiento general de las curvas de transformación coincide con lo encontrado para los mismos indicadores por Van Leeuwen et al. (2001). Estos autores consideran que pueden mejorar sustancialmente la calidad del ambiente sin sacrificar la economía.

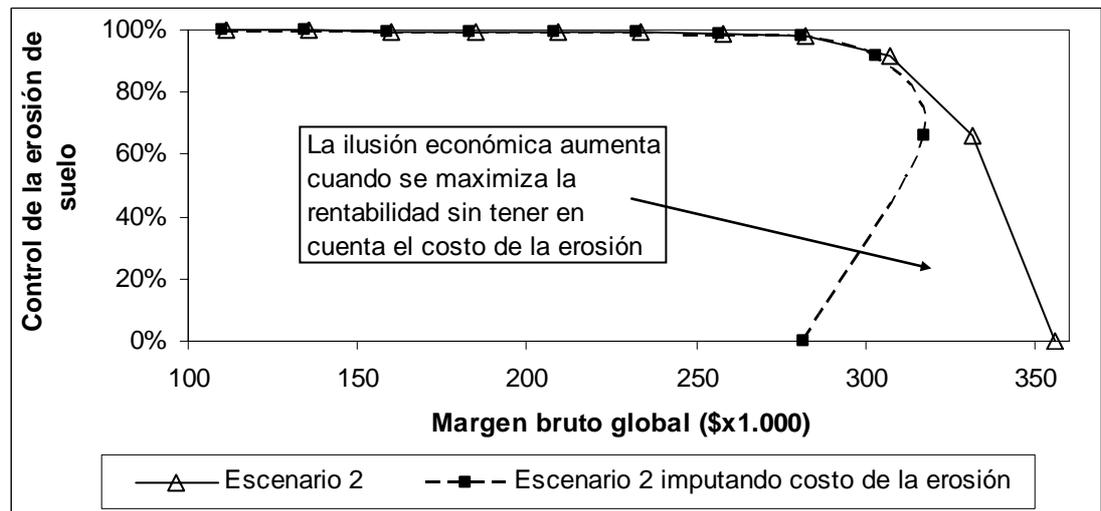


Figura 1: Curvas de transformación MBG – Control de la ES, el productor: a) Conoce el costo de la pérdida de suelo (E1), b) no reconoce el costo de la pérdida de suelo (E2) y c) tiene en cuenta el costo de la ES y adhiere a la Ley 8863 (E3)

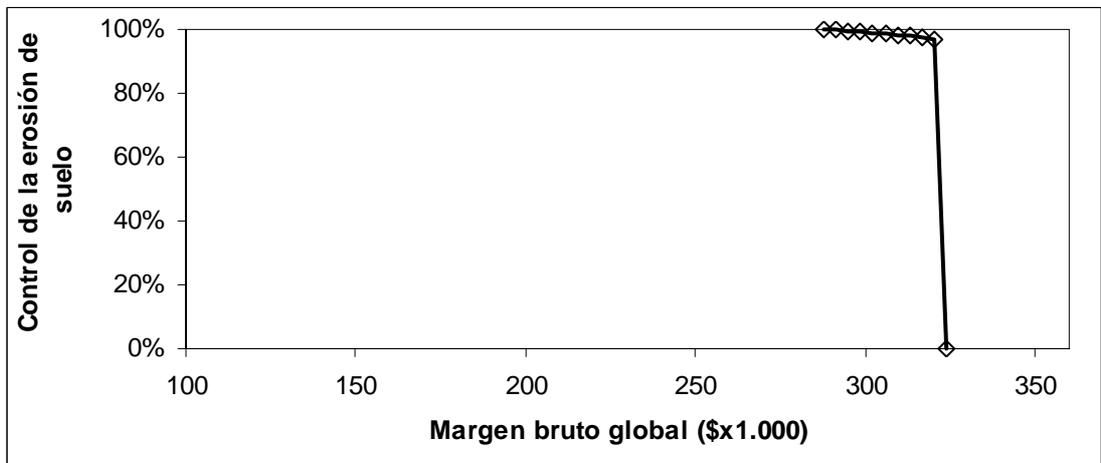
a)



b)



c)



Fuente: Elaboración propia



En la realidad es altamente probable que los sistemas de producción y los resultados en términos de control ES y MBG estén dentro de los límites de las curvas de transformación. De hecho, los valores promedio de ES de la cuenca estimados (Cisneros et al. 2004; de Prada et al. 2005) rondan los valores obtenidos por el modelo optimizando rentabilidad para el E2. Por lo tanto, las posibilidades de mejoras en ambas dimensiones económica y ambiental de los sistemas de producción aparecen como una excelente alternativa en la región bajo estudio.

4. Conclusiones y limitaciones

En este trabajo se cuantifica el conflicto existente entre atributos económicos y ambientales vinculados a la ES mediante un modelo de programación por metas, que representa a un productor agropecuario del sur de Córdoba. El modelo está desarrollado con: a) seis atributos (MBG, RE, PS, ES, CT e ID), b) 18 restricciones (e.g. capital, tierra, trabajo, balance forrajero, rotación), y c) 72 variables de decisión. Los resultados del modelo muestran un alta relación con el fenómeno productivo y ambiental observado localmente en lo referente a: a) la dominancia del cultivo de soja y la alta intensidad de utilización de insumos cuando el productor maximiza rentabilidad, b) un sistema productivo más diversificado cuando se optimizan los otros atributos económicos, como minimizar el RE, y c) la superioridad de la siembra directa sobre labranza convencional.

En todos los escenarios, los resultados muestran que existe conflicto entre la rentabilidad y el control de la ES. Sin embargo, este conflicto aparece como más importante en el E2 donde el productor desconoce el costo de la PS en su establecimiento agropecuario. Es importante notar que este escenario posiblemente sea la mejor representación de la percepción del productor sobre el fenómeno de ES.

Este hallazgo tiene implicancias importantes en varios sentidos, en primer lugar, si el

productor incorpora este conocimiento a la toma de decisiones evitará la ilusión económica y mejorará el desempeño ambiental reduciendo a la tercera parte las PS de su establecimiento aún para aquellos productores que solo maximizan la rentabilidad. En segundo lugar, desde el punto de vista público este resultado permite orientar la política CS que generalmente se ha basado en los daños causados por la externalidad de la ES y poca importancia se le ha otorgado al efecto económico de la PS sobre la economía del productor. En este sentido, por ejemplo, un impuesto pigouviano equivalente al precio sombra de la PS ligado a una política de extensión que haga accesible el conocimiento y tecnología para controlar las ES motivaría a los productores aún aquellos que maximizan la rentabilidad a reducir a un tercio la PS.

Por otro lado, la curva de transformación control ES – MBG muestran otro hallazgo importante: Se necesita un pequeño sacrificio económico para lograr una mejora significativa en el control de la ES. De hecho, el modelo muestra que un productor puede alcanzar el 78% al 97% del control de la ES de su establecimiento para E1 y E3 respectivamente sacrificando solo el 10% de su rentabilidad económica. Estos resultados resultan estimulantes para las políticas de CS, dado que el productor con problemas de ES que pondere la dimensión ambiental en las decisiones, puede lograr excelentes resultados con relativamente bajo costo económico.

Desde el punto de vista público, también este hallazgo muestra una línea de trabajo interesante, ya que si el objetivo es reducir significativamente el problema de ES, y los productores solo maximizan rentabilidad económica, una política que incorpore incentivos o penalidades económicas puede lograr excelentes resultados en CS sin sacrificar la economía agraria de la región.

Por último, otro hallazgo interesante es aquel que muestra al productor que adhiere a la política CS provincial. Los resultados muestran que la política CS estabiliza y reduce la magnitud del conflicto entre proveer



productos para el mercado, medido por el MBG, y los servicios ambientales medidos por el control de la ES. De hecho, el productor maximizando rentabilidad puede lograr un 80% de control de la ES y un 56% de control de las PS con la misma rentabilidad que en el E1.

En síntesis, existe un amplio margen de mejora del desempeño ambiental de la producción agropecuaria si el productor y la política CS incorporan la dimensión ambiental y económica de la pérdida de suelo en la toma de decisiones.

Aunque los resultados muestran consistencia con lo hallados por otros autores, es importante reconocer algunas limitantes que deben ser consideradas por el lector. En primer lugar, los resultados están basados en condiciones promedio y con información secundaria. Por lo tanto, su extrapolación a otras situaciones o la aplicación directa de los mismos debe ser rigurosamente considerada. La política CS ha sido incorporada como un pago anual equivalente para poder considerarlo en la programación por meta; sin embargo, la decisión del productor de adherir o no a la política CS debería ser considerada como un proyecto de inversión incorporando la dinámica temporal del fenómeno de ES y financiero, y estudiada mediante la metodología de análisis costo beneficio. La agenda futura de investigación prevé estudiar estas limitaciones.

REFERENCIAS

AACREA. 2005. Serie de Precios Agropecuarios.

Altieri, M. A. & W. A. Pengue. 2006. La soja transgénica en América Latina: Una maquinaria de hambre, deforestación y devastación socioecológica. *Biodiversidad* Vol. 3, No. 47: 14-19.

Amador, F., Sumpsi, J. M. & 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* Vol. 25, No. 1: 92-109.

Ballesteros, E. & C. Romero. 1998. Multiple criteria decision making and its applications to economic problems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Bavera, G. A., Bocco, O. A., Beguet, H. A. & C. Peñafort. 2005. Capítulo 4. Raciones de Suplementos y

Pasturas y Presupuestación Forrajera. Cursos de Producción Bovina de Carne. FAV, UNRC. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/> (actualizado 22/8/2005; consultado 28/5/2006).

Becerra, V., Cisneros, J. M., de Prada, J., Cantu, M. P., Gil, H., González, J., Reynero, M., Degioanni, A. & A. Cantero G. 1992. Síntesis del anteproyecto preliminar: Ordenamiento y manejo integral de aguas y tierras para las cuencas de General Deheza, Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto.

Bravo-Ureta, B. E., Cocchi, H. & D. Solís. 2006. Adoption of soil conservation technologies in El Salvador: a cross-section and over-time analysis. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.

Cantero G., A., Cantu, M. P. Cisneros, J. M. Cantero, J. J. Blarasin, M., Degioanni, A., González, J., Becerra, V. H., Gil, H., de Prada, J. D., Degioavanni, S., Cholaky, C., Villegas, M., Cabrera, A. & C. Eric. 1998. Las tierras y aguas del Sur de Córdoba: Propuesta para un Manejo Sustentable. 1ra ed. Río Cuarto, Córdoba. Argentina: UNRC.

Casas, R. R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires. Vol. 55, No. 1: 199-247

Cisneros, J. M., de Prada, J., Degioanni, A., Cantero G., A., Gil, H., Reynero, M., Shah, F. A. & B. Bravo-Ureta. 2004. Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba: Evaluación mediante el modelo RUSLE 2, pp. 10 XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Parana, Entre Ríos, Argentina.

Cisneros, J. M., Cantero G., A., González, J. G., de Prada, J. D., Reynero, M. A., Gil, H. A., Degioanni, A., Cholaky, C., Becerra V. H. & F. Mongi. 2005. Programa de Control de Erosión-Sedimentación y Manejo Ambiental de las Tierras y Prevención de Aporte de Excedentes Hídricos a los Caminos de la Red Secundaria y Terciaria de las Subcuencas de Holmberg, La Lagunilla y La Carolina Protocolo de Trabajo No. 2. Convenio de Cooperación Universidad Nacional de Río Cuarto-Dirección Provincial de Vialidad-Córdoba Argentina, Río Cuarto. No. 86

Clark II, E. H., Haverkamp, J. A. & W. Chapman, 1986. Eroding soils: The off-farm impacts. Washington, D.C.: The Conservation Foundation.

de Prada, J., Bravo-Ureta B. & F. Shah. 2005. El costo de la erosión de suelo para los productores agropecuarios en el sur de Córdoba, Argentina. *Revista Argentina de Economía Agraria*. Vol. 8, No. 1: 4-21.

de Prada, J. D., Gil, H. A., Hernández, J., Becerra, V. H & A. Cantero G. 2007. Análisis financiero de la política de conservación de suelo de la Provincia de Córdoba, Argentina. XXXVIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, Mendoza, Argentina. 16-19 octubre. AAEA.

Eaton, D. 1996. The economic of soil erosion: A model of farm decision-making DP 96-01. International Institute for Environment and Development, The Hague.



- Ficco, M. 2006. Evolución de los sistemas de agricultura permanente, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Foster, G. R. 2004. User's reference guide: Revised universal soil loss equation Version 2 (Draft). Washington, D.C.: USDA-Agricultural Research Service.
- Gil, H. A., de Prada, J. D., Becerra, V. H., Cisneros, J. M. & M. A. Reynero 2006. Gestión del recurso suelo en el medio rural: análisis político-institucional en la Provincia de Córdoba, Argentina. XXXVII Reunión Anual Villa Giardino, Córdoba. Asociación Argentina Economía Agraria.
- Gómez-Limón, J. & J. Berbel. 1999. Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study. *Agricultural Systems* Vol. 63, No. 1: 49-72.
- Gómez-Limón, J., Arriaza, M. & L. Riesgo. 2003. An MCDM analysis of agricultural risk aversion. *European Journal of Operational Research* Vol. 151, No. 3: 569-585.
- Hayashi, K. 2000. Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives. *European Journal of Operational Research* Vol. 122, No. 1: 486-500.
- Jarsún, B., Gorgas, J. A. Zamora, E., Bosnero, H., Lovera, E., Ravelo, A. & J. L. Tassile, 2003. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos - Nivel de reconocimiento 1:500.000. Córdoba.
- Kugler, W. F., Prego, A. J. Cantero G., A. Capurro, R. A. Glave, A. E. & J. L. Panigatti, 1988. El deterioro del ambiente en la Argentina. Buenos Aires: FEDIC.
- Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science* Vol. 165, No. 1: 57-72.
- 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* Vol. 29, No. 4: 437-450.
- Meyer-Aurich, A. 2005. Economic and environmental analysis of sustainable farming practices - a Bavarian case study. *Agricultural Systems* Vol. 86, No. 2: 190-206.
- Olson, K. R., Norton, L. D. & R. Lal. 1994. Evaluation of methods to study soil erosion-productivity relationships. *Journal of Soil and Water Conservation* Vol. 49, No. 6: 586-590.
- Portillo, J. A., Paz, S. & M. Pecar. 2005. Teoría de portafolio: Utilización para evaluar los riesgos agropecuarios. *Revista Argentina de Economía Agraria* Vol. VIII: 72-88.
- Revista Agro Mercado, Suplemento Económico, 2006. Mayo, No. 120: 23-40, Buenos Aires.
- Riesgo, L. & J. Gómez-Limón. 2006. Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural systems* Vol. 91, No. 1-2: 1-28.
- SAGPyA. 2006. Estimaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>
- SAYG-MP. 1999. Relevamiento de productores agropecuarios 1999: Manual de Instrucciones. Secretaría de Agricultura y Ganadería - Ministerio de la Producción, Córdoba. 15
- Stocking, M. & A. Tengberg. 1999. "Soil conservation as incentive enough-experiences from Southern Brazil and Argentina on identifying sustainable practices", p. 69-84. In: Sanders, D. W., Huszar, P., Sombatpanit, S. & T. Enters, (eds). Incentives for soil conservation: from theory to practice. Enfield, New Hampshire: Science Publisher.
- Sumpsi, J. M., Amador, F. & C. Romero. 1997. On farmer's objectives: a multicriteria approach. *European Journal of Operational Research* Vol. 96, No. 1: 64-71.
- Tamiz, M., Dylana, J. & C. Romero. 1998. Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research* Vol. 111, No. 3: 569-581.
- Trigo, E. J. & E. J. Cap. 2003. The impact of the introduction of transgenic crops in argentinean agriculture. *AgBioForum* Vol. 6, No. 3: 87-94.
- van Calker, K. J., Berentsen, P. B. M., Romero, C., Giesen, G. W. J. & R. B. M. Huirne. 2006. Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecological Economics* Vol. 57, No. 4: 640-658.
- Van Leeuwen, A. C. J., Köbrich, C. & M. Maino. 2001. Programación lineal para la elaboración de escenarios óptimos de uso de la tierra. Disponible en: <http://www.fao.org/Regional/LAmerica/proyecto/139jpn/document/3dctos/sirtplan/infotec/3pltx.pdf>



Anexo 1. Valores de los atributos para cada una de las variables de decisión del modelo

Tabla 1: Parámetros asociados a las variables de decisión en los cultivos de cosecha por atributo

Atributos	Unidad	Soja											
		Altos rendimientos						Bajos rendimientos					
		Convencional			Siembra directa			Convencional			Siembra directa		
		SPCS	FB	Terraza	SPCS	FB	Terraza	SPCS	FB	Terraza	SPCS	FB	Terraza
Rentabilidad	\$c/ha	682	614	656	771	694	745	425	383	399	521	469	495
Perdida de suelo	Mg/ha	37,0	18,0	21,0	4,0	1,6	2,3	41,0	20,0	27,0	7,2	2,9	4,1
Erosión de suelo	Mg/ha	37,0	4,7	3,9	4,0	0,4	0,4	41,0	4,8	5,4	7,2	0,6	0,6
Capital de trabajo	\$c/ha	532	479	532	444	400	444	385	347	385	289	260	289
Índice de dificultad		28,0	40,0	42,0	15,0	19,0	21,0	26,0	36,0	38,0	13,0	15,0	17,0
Maíz													
Rentabilidad	\$c/ha	585	527	559	628	565	602	194	175	168	247	222	221
Perdida de suelo	Mg/ha	11,0	3,3	4,0	1,2	0,6	0,9	16,0	5,4	4,5	3,7	1,7	1,8
Erosión de suelo	Mg/ha	11,0	0,6	0,7	1,2	0,1	0,1	16,0	0,8	0,5	3,7	0,2	0,4
Capital de trabajo	\$c/ha	656	590	656	612	551	612	357	321	357	304	274	304
Índice de dificultad		26,0	38,0	40,0	14,0	18,0	20,0	24,0	34,0	36,0	12,0	14,0	16,0
Trigo													
Rentabilidad	\$c/ha	318	286	292	394	355	368	112	101	86	188	169	162
Perdida de suelo	Mg/ha	8,0	3,8	6,4	5,6	2,8	4,6	11,0	5,2	10,0	8,4	4,2	7,5
Erosión de suelo	Mg/ha	8,0	1,2	1,1	5,6	0,9	0,9	11,0	1,3	1,9	8,4	1,1	1,1
Capital de trabajo	\$c/ha	497	447	497	422	380	422	307	276	307	232	209	232
Índice de dificultad		24,0	36,0	38,0	15,0	19,0	21,0	22,0	32,0	34,0	13,0	15,0	17,0
Girasol													
Rentabilidad	\$c/ha	611	550	585	717	645	691	371	334	345	477	429	451
Perdida de suelo	Mg/ha	24,0	7,4	16,0	2,3	0,9	4,5	29,0	9,0	21,0	4,0	1,5	6,4
Erosión de suelo	Mg/ha	24,0	3,6	3,1	2,3	0,5	0,7	29,0	3,4	4,8	4,0	0,6	0,9
Capital de trabajo	\$c/ha	418	376	418	312	281	312	370	333	370	264	238	264
Índice de dificultad		26,0	36,0	38,0	15,0	19,0	21,0	24,0	32,0	34,0	13,0	15,0	17,0

Fuente: Elaboración propia. Nota: SPCS = sin práctica de conservación de suelo, FB = una franja de pastura perenne sembrada cortando la pendiente y ocupa el 10% de la superficie de tierra de cultivo



Tabla 2: Parámetros asociados a las variables de decisión de los cultivos forrajeros utilizados en el modelo por atributo

Atributos	Unidad	Avena								
		Alfalfa			Convencional			Siembra directa		
		SPCS	FB	Terraza	SPCS	FB	Terraza	SPCS	FB	Terraza
Rentabilidad	\$c/ha	-123	-123	-149	-148	-148	-174	-187	-187	-214
Perdida de suelo	Mg/ha	2,6	2,1	2,1	18,0	14,0	14,0	5,4	4,4	4,4
Erosión de suelo	Mg/ha	1,8	1,5	0,9	11,0	8,7	2,9	3,4	2,8	1,1
Capital de trabajo	\$c/ha	75	75	75	148	148	148	187	187	78
Índice de dificultad		10,0	10,0	12,0	21,0	31,0	23,0	12,0	14,0	33

	Unidad	Sorgo forrajero						Festuca
		Convencional			Directa			
		SPCS	FB	Terraza	SPCS	FB	Terraza	
Rentabilidad	\$c/ha	-105	-105	-131	-135	-135	-166	-71
Perdida de suelo	Mg/ha	20	16	16	9	6,5	6,5	3,1
Erosión de suelo	Mg/ha	11	9,5	3	5,6	4,1	1,7	3,1
Capital de trabajo	\$c/ha	78	78	118	118	118	24	24
Índice de dificultad		21	31	16	12	14	7	4,8

Fuente: Elaboración propia. Nota: Las rentabilidad de las actividades forrajeras es negativo porque directamente toma el costo de realización de la actividad sin la alimentación y suplementación

Tabla 3. Parámetros asociados a las variables de decisión para la producción ganadera

	Unidad	Cría ganado bovino		Invernada bovina	
		Alto rendimiento	Bajo rendimiento	Alto rendimiento	Bajo rendimiento
Rentabilidad	\$c/ha	295	333	242	153
Capital de trabajo	\$c/ha	371	489	89	90
Índice de dificultad		60	50	90	70

Fuente: Elaboración propia. Nota: el margen bruto de la cría e invernada vacuna es sin costos de alimentación, el costo es imputado en la producción de forraje y la suplementación, cuyo costos por alto rendimiento y bajo rendimiento son de \$c/Mg 160 y 109

Tabla 4: Matriz de covarianza: Ingreso neto de gastos de cosecha y comercialización de las actividades usadas en el modelo

	Maíz	Producción bovina	Soja	Girasol	Trigo
Maíz	9.432				
Producción bovina	-753	478			
Soja	9.098	-140	36.512		
Girasol	4.400	-613	3.128	6.107	
Trigo	1.049	-103	658	1.002	933

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de SAGPyA

Acrónimos y abreviaturas

CS: Conservación de suelos
CT: Capital de trabajo
E1, E2 y E3: Escenario 1, Escenario 2, y Escenario 3 respectivamente
ES: Erosión de suelo
ha: hectárea
ID: Índice de dificultad
MB: Margen Bruto
MBG: Margen Bruto Global (suma de los márgenes brutos de las actividades)
Mg/ha: Megagramos por hectárea
PS: Perdida de suelos
RE: Riesgo Económico, medido como la varianza del margen bruto global
\$c: pesos constantes julio de 2005