



**“VALORACIÓN MULTICRITERIO DEL IMPACTO  
AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE ROTACIONES DE CORTO Y  
LARGO PLAZO EN ESTABLECIMIENTOS CREA DE LA  
REGIÓN CENTRO, CÓRDOBA, ARGENTINA”**

**Ariel Ricardo Angeli**

**Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Río Cuarto, 2006**

73203

**Magister Scientiae Ciencias Agropecuarias  
Orientación: Gestión Ambiental**

**ESCUELA DE POSGRADUACIÓN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

80287

73203

MFN:
Clasif:
T. 865

## **COMITE CONSEJERO**

Director:

Jorge Dante de Prada  
Ingeniero Agrónomo, MSc. Ph.D

Codirector:

José Manuel Cisneros  
Ingeniero Agrónomo, MSc. Ph.D

**TESIS DE  
MAGISTER SCIENTIAE  
DE LA  
ESCUELA DE POSGRADUACIÓN  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**

## **JURADO DE TESIS**

- Miembro: Emilio Satorre  
Ingeniero Agrónomo, Ph.D
- Miembro: Silvina Cabrini  
Ingeniera Agrónoma, MSc. Ph.D
- Miembro: Liliana Cristina Issaly  
Ingeniera Agrónoma, MSc.

26 de Febrero de 2013

**TESIS DE  
MAGISTER SCIENTIAE  
DE LA  
ESCUELA DE POSGRADUACIÓN  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**

*Al hermoso recuerdo de mis abuelos.*

*A Papá y Mamá, por la familia que formaron.*

*A mi hermana Sandra, un ejemplo de lucha.*

*A Agostina, estímulo de mi presente, ilusión de nuestro futuro.*

*A Santi y los que vendrán, los motivos del porvenir.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC y a CREA Región Centro, por el apoyo académico y económico brindado para materializar este estudio.

La vinculación institucional entre la Región Centro y la Facultad de Agronomía y Veterinaria no serían realidad sin la predisposición y el trabajo de los entonces vocales regionales Juan Balbín y Francisco Iguerabide, del coordinador de la Región Centro Carlos Peñafort, del responsable de la Mesa de Intercambio Agrícola, Gustavo Martini y de los miembros del equipo de trabajo del Servicio de Conservación y Ordenamiento de Tierras de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, gracias a ellos.

Deseo agradecer especialmente al profesor Jorge de Prada, por la inspirar la esencia de este trabajo, por su ejemplo profesional y personal, por guiarme en este proceso de aprendizaje y formación, por ayudarme a pensar y por ser uno de los artífices del vínculo institucional FAV-CREA Región Centro.

A José Cisneros por sus certeros aportes sobre el borrador de este trabajo.

A Carlos Peñafort y Gustavo Martini, maestros de esta apasionante profesión, por su apoyo, su motivación constante y por generar un espacio de confianza entre las personas para realizar este trabajo.

Durante presentaciones preliminares de este trabajo he recibido valiosos aportes de la Junta Académica de la Maestría de la FAV, del equipo del Servicio de Conservación de Suelos y Ordenamiento de Tierras de la FAV, de la Mesa de Intercambio Agrícola Región Centro, de la Mesa de Asesores Región Centro y de la Mesa de Planes Nacionales de CREA. Cada aporte me ayudó a pensar y mejorar este trabajo.

Quiero también agradecer a los dos productores CREA que me brindaron desinteresadamente la información que permitió materializar este estudio, así como a los asesores de la Región Centro, por facilitar el contacto y brindarme datos de gran utilidad para desarrollar el trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
I.1. LA SUSTENTABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS.	
CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
I.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	5
<b>II. ANTECEDENTES.....</b>	<b>8</b>
II.1. SUSTENTABILIDAD.....	9
II.2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN, ROTACIONES Y SUSTENTABILIDAD.....	10
II.3. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD.....	12
II.4. MODELOS MATEMÁTICOS MULTICRITERIO.....	16
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
III.1. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LAS SITUACIONES EVALUADAS.....	22
<i>Características productivas generales del área</i> .....	22
<i>Características específicas de los productores seleccionados</i> .....	23
III.2. USO DE LA TIERRA Y DETERMINACIÓN DE PERIODOS DE ANÁLISIS.....	24
<i>Configuración de la rotación de cultivos a partir de los resultados</i> .....	30
III.3. METODOLOGÍA GENERAL. PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA MULTICRITERIO.....	30
<i>Definiciones básicas</i> .....	30
<i>Identificación de atributos y objetivos</i> .....	32
<i>Base de datos y métodos de estimación de los atributos</i> .....	32
<i>Modelo Matemático</i> .....	35
III.4. PROCEDIMIENTO GENERAL.....	37
<i>Etapa 1. Recolección e integración de datos</i> .....	37
<i>Etapa 2. Diseño del modelo de programación matemática</i> .....	38
<i>Etapa 3. Utilización del modelo</i> .....	38
<i>Etapa 4. Interpretación de resultados</i> .....	39
<i>Etapa 5. Análisis de sensibilidad</i> .....	40
<b>IV. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL CONFLICTO ECONÓMICO – AMBIENTAL MEDIANTE MATRICES DE PAGO. ....</b>	<b>41</b>
IV.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	41
IV.2. MÉTODOS.....	43
<i>Matriz de Pago</i> .....	43
<i>Porcentaje de alcance y expresión gráfica de los objetivos</i> .....	43
IV.3. CONFLICTO ECONÓMICO-AMBIENTAL Y EVOLUCIÓN PARA UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA – PRODUCTOR I.....	44

<i>Conflicto entre atributos en el periodo mixto (periodo 1 - 1994-97)</i> .....	44
<i>Uso de la tierra y rotaciones, periodo 1</i> .....	46
<i>Conflicto entre atributos en el periodo agrícola (Periodo 2, 2004-06)</i> .....	47
<i>Uso de la tierra y rotaciones, periodo 2</i> .....	49
<i>Planteos tecnológicos</i> .....	50
<i>Evolución de las fronteras para cada atributo</i> .....	51
IV.4. CONFLICTO ECONÓMICO-AMBIENTAL Y EVOLUCIÓN PARA UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MIXTO – PRODUCTOR 2.....	54
<i>Conflicto entre atributos en el periodo 1 (1994-97)</i> .....	54
<i>Uso de la tierra y rotaciones, periodo 1</i> .....	55
<i>Conflicto entre atributos en el periodo 2 (2003-05)</i> .....	56
<i>Uso de la tierra y rotaciones, periodo 2</i> .....	57
<i>Evolución de los óptimos para cada atributo</i> .....	59
IV.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DEL CONFLICTO.....	61
IV.6. UTILIZACIÓN DE LA TIERRA Y RESULTADOS REALES DE LOS PRODUCTORES.....	64
IV.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	67
<i>Atributos económicos</i> .....	67
<i>Atributos ambientales</i> .....	67
<i>Conflicto económico-ambiental</i> .....	68
<i>Rotaciones e indicadores de sustentabilidad</i> .....	69
IV.8. RESUMEN E IMPLICANCIAS DE LOS HALLAZGOS. LÍNEAS A EXPLORAR.....	69
<b>V. FRONTERAS DE EFICIENCIA ECONOMÍA-AMBIENTE PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS EN EL CENTRO-SUR DE CÓRDOBA.....</b>	<b>73</b>
V.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	73
V.2. MÉTODO. CONJUNTO DE RESULTADOS PARETO-EFICIENTES.....	75
V.3. RENTABILIDAD ECONÓMICA Y CONSERVACIÓN DE SUELO.....	77
<i>Uso de la tierra que selecciona el modelo</i> .....	80
V.4. RENTABILIDAD ECONÓMICA Y DEPENDENCIA ENERGÉTICA.....	83
<i>Uso de la tierra que selecciona el modelo</i> .....	85
V.5. RENTABILIDAD Y RIESGO ECONÓMICO.....	87
<i>Uso de la tierra que selecciona el modelo</i> .....	89
V.6. DISCUSIÓN.....	92
<i>La rentabilidad y la conservación de suelo</i> .....	92
<i>La rentabilidad y la dependencia de energía</i> .....	93
<i>La rentabilidad y el riesgo económico</i> .....	94
V.7. RESUMEN E IMPLICANCIAS DE LOS HALLAZGOS. LÍNEAS A EXPLORAR.....	95

<b>VI.</b>	<b>APLICACIÓN DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN POR METAS PONDERADAS INTERACTIVO.....</b>	<b>97</b>
VI.1.	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....	97
VI.2.	MÉTODO.....	99
	a) <i>Programación por metas ponderadas.....</i>	99
	b) <i>Interacción con los tomadores de decisión. Definición de parámetros del modelo</i>	100
	c) <i>Importancia otorgada por los productores a los atributos en función del uso real de la tierra. ....</i>	100
VI.3.	FRONTERAS DE LOS MODELOS INTEGRADOS.....	101
	<i>Productor 1.....</i>	101
	<i>Productor 2.....</i>	103
VI.4.	PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO DE PPM CON EL USO DE PONDERACIONES Y METAS DEFINIDOS POR LOS TDA.....	105
	<i>Productor 1.....</i>	105
	<i>Productor 2.....</i>	110
VI.5.	PONDERACIÓN REAL QUE OTORGAN LOS PRODUCTORES A SUS ATRIBUTOS.....	116
VI.6.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	116
VI.7.	RESUMEN E IMPLICANCIAS DE LOS HALLAZGOS. LÍNEAS A EXPLORAR .....	117
<b>VII.</b>	<b>ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....</b>	<b>119</b>
VII.1.	INTRODUCCIÓN.....	119
VII.2.	MÉTODO.....	120
	<i>Parámetros a sensibilizar.....</i>	120
	<i>Análisis .....</i>	121
VII.3.	CAMBIOS EN LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN ANTE VARIACIONES DE PRECIOS, COSTOS Y PENALIDADES DE RENDIMIENTO POR MONOCULTIVO .....	121
	<i>Productor 1.....</i>	121
	<i>Productor 2.....</i>	123
VII.4.	CAMBIOS EN EL RESULTADO ECONÓMICO ANTE LOS CAMBIOS DE PRECIOS DE PRODUCTOS .....	125
VII.5.	CAMBIOS EN EL RESULTADO ECONÓMICO ANTE CAMBIOS EN LOS PRECIOS DE INSUMOS .....	128
VII.6.	RESUMEN E IMPLICANCIAS DE LOS HALLAZGOS, LÍNEAS A EXPLORAR .....	130
<b>VIII.</b>	<b>LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....</b>	<b>131</b>
<b>IX.</b>	<b>CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>134</b>
<b>X.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>139</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla II-1: Efecto de las rotaciones sobre indicadores ambientales citados en la literatura.</i>	11
<i>Tabla II-2: Indicadores ambientales utilizados en la bibliografía en relación a los impactos ambientales (IMA) y formas de medición o estimación.</i>	14
<i>Tabla II-3: Atributos considerados en las valoraciones con modelos matemáticos multicriterio en la literatura.</i>	17
<i>Tabla II-4: Aportes de la bibliografía en relación al conflicto entre economía y ambiente, mediante el uso de análisis multicriterio.</i>	19
<i>Tabla II-5: Aportes de la bibliografía en relación al conflicto entre economía y ambiente, mediante el uso de análisis multicriterio (II).</i>	20
<i>Tabla III-1: Usos, rubros y niveles de producción de los establecimientos de CREA Región Centro. Promedio campañas 2002-03 a 2006-07.</i>	23
<i>Tabla III-2: Características edafoclimáticas de los predios de los productores seleccionados.</i>	24
<i>Tabla III-3: Precipitación promedio y para cada periodo</i>	26
<i>Tabla III-4: Resultados físicos y económicos de las actividades</i>	28
<i>Tabla III-5: Alternativas de uso de la tierra.</i>	29
<i>Tabla III-6: Atributos seleccionados para cada dimensión de análisis de la sustentabilidad.</i>	32
<i>Tabla III-7: Atributos, objetivos y metodología de estimación.</i>	36
<i>Tabla III-8: Restricciones de tierra, capital, trabajo y técnicas de los cuatro modelos</i>	37
<i>Tabla IV-1: Matriz de pago, periodo 1, 1994-97. Productor 1.</i>	45
<i>Tabla IV-2: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 1, 1994-97. Productor 1</i>	47
<i>Tabla IV-3: Matriz de pago periodo 2, 2004-06. Productor 1</i>	48
<i>Tabla IV-4: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 2, 2004-06. Productor 1.</i>	49
<i>Tabla IV-5: Planteos tecnológicos seleccionados por el modelo para la matriz de pago, periodo 2, 2004-06. Productor 1.</i>	51
<i>Tabla IV-6: Cambio en los atributos del periodo 2 relativo al periodo 1, productor 1.</i>	53
<i>Tabla IV-7: Matriz de pago, periodo 1, 1994-97. Productor 2.</i>	55
<i>Tabla IV-8: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 1, 1994-97. Productor 2</i>	56
<i>Tabla IV-9: Matriz de pago, periodo 2, 2003-05. Productor 2.</i>	57
<i>Tabla IV-10: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 2, 2003-05. Productor 2</i>	58
<i>Tabla IV-11: Cambio en los atributos del periodo 2 relativo al periodo 1, productor 2.</i>	60

<i>Tabla IV-12: Uso de la tierra real.</i>	64
<i>Tabla IV-13: Valores reales de los atributos y cambios porcentuales entre periodos.</i>	65
<i>Tabla V-1: Frontera MBG y PS-CS, Periodos 1 y 2, productor 1.</i>	78
<i>Tabla V-2: Frontera MBG y PS-CS, Periodos 1 y 2, productor 2.</i>	79
<i>Tabla V-3: Frontera MBG y DE, Periodos 1 y 2, productor 1</i>	84
<i>Tabla V-4: Frontera MBG y DE, Periodos 1 y 2, productor 2</i>	84
<i>Tabla V-5: Frontera MBG y RE, Periodos 1 y 2, productor 1</i>	88
<i>Tabla V-6: Frontera MBG y RE, Periodos 1 y 2, productor 2</i>	88
<i>Tabla VI-1: Matriz de pago, modelo integrado de los dos periodos. Productor 1.</i>	102
<i>Tabla VI-2: Matriz de pago, modelo integrado de los dos periodos. Productor 2.</i>	104
<i>Tabla VI-3: Relación entre MBG-CT. Modelo integrado productor 1</i>	106
<i>Tabla VI-4: Relación entre MBG-CT. Modelo integrado productor 2.</i>	111
<i>Tabla VI-5: Ponderación otorgada a los atributos MBG y CT de acuerdo al resultado alcanzado por los productores. Periodo 2.</i>	116
<i>Tabla VII-1: Resumen de relaciones y parámetros del modelo que cambian en los escenarios de análisis de sensibilidad</i>	121

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico III-1: Asignación de tierra a agricultura y ganadería en el periodo 1990-2007, productor 1 y 2.</i>	25
<i>Gráfico III-2: Dedicación de superficie por cultivos periodo 1990-2007, productor 1 y 2.</i>	27
<i>Gráfico IV-1: Grado de alcance de los objetivos ante las optimizaciones de MBG (a), PS (b) y DE (c) para los productores 1 y 2 en los dos periodos de análisis.</i>	63
<i>Gráfico IV-2: Grado de alcance real de los objetivos de los productores 1 (a) y 2 (b) en los dos periodos.</i>	66
<i>Gráfico V-1: Fronteras de eficiencia MBG-CS en valores normalizados tomando como referencia máxima y mínima al periodo 1 (líneas). Ubicación de los productores en relación a las fronteras (puntos).</i>	80
<i>Gráfico V-2: Cambios en el patrón de uso de la tierra que selecciona el modelo para distintos alcances de los atributos MBG y CS.</i>	82
<i>Gráfico V-3: Fronteras de eficiencia MBG-DE en valores normalizados tomando como referencia máxima y mínima al periodo 1 (líneas). Ubicación de los productores en relación a las fronteras (puntos).</i>	85
<i>Gráfico V-4: Usos de la tierra que selecciona el modelo para distintos alcances de los atributos MBG y DE.</i>	86

<i>Gráfico V-5: Fronteras de eficiencia MBG-RE en valores normalizados tomando como referencia máxima y mínima al periodo 1 (líneas). Ubicación de los productores en relación a las fronteras (puntos).</i>	89
<i>Gráfico V-6: Usos de la tierra que selecciona el modelo para distintos alcances de los atributos MBG y RE.</i>	91
<i>Gráfico VI-1: Usos de la tierra seleccionados por el modelo para las optimizaciones individuales de atributos. Productor 1. Modelo integrado.</i>	103
<i>Gráfico VI-2: Usos de la tierra seleccionados por el modelo para las optimizaciones individuales de atributos. Productor 2. Modelo integrado.</i>	105
<i>Gráfico VI-3: Relación entre CT-MBG y <math>\Delta</math>MBG/<math>\Delta</math>CT. Productor 1.</i>	107
<i>Gráfico VI-4: Uso de la tierra de acuerdo a la relación de ponderación MBG-CT.</i>	108
<i>Gráfico VI-5: Grado de alcance para los distintos atributos ante ponderaciones variables en la relación MBG-CT: a) 100-0; b) 80-20; c) 50-50 y d) 10-90. Productor 1, modelo integrado.</i>	109
<i>Gráfico VI-6: Relación entre CT-MBG y <math>\Delta</math>MBG/<math>\Delta</math>CT. Productor 2.</i>	112
<i>Gráfico VI-7: Uso de la tierra de acuerdo a la relación de ponderación MBG-CT.</i>	113
<i>Gráfico VI-8: Grado de alcance para los distintos atributos ante ponderaciones variables en la relación MBG-CT: a) 100-0; b) 80-20; c) 50-50 y d) 10-90. Productor 2, modelo integrado.</i>	114
<i>Gráfico VI-9: Grado de alcance para los distintos atributos ante metas establecidas por el TDA (a) y definiendo individualmente las metas y optimizando el restante (b y c).</i>	115
<i>Gráfico VII-1: Uso de la tierra que selecciona el modelo para cada escenario y MBG normalizado para optimización de máximo MBG. 100 = MBG en el modelo original, productor 2, periodo 2, optimizando MBG.</i>	123
<i>Gráfico VII-2: Uso de la tierra que selecciona el modelo para cada escenario y MBG normalizado para optimización de máximo MBG.</i>	124
<i>Gráfico VII-3: Cambios en MBG ante distintos escenarios de precio de productos para los 6 atributos optimizados y la situación real, productores 1 y 2.</i>	127
<i>Gráfico VII-4: Cambios en MBG ante distintos escenarios de precio de insumos para los 6 atributos optimizados y la situación real, productores 1 y 2.</i>	129

## RESUMEN

### **Valoración multicriterio del impacto ambiental y económico de rotaciones de corto y largo plazo en establecimientos CREA de la Región Centro, Córdoba, Argentina.**

Los cambios ocurridos en los últimos diez años en los sistemas de producción agropecuarios de la Región Sur de Córdoba, con especialización de cultivos y reducción del área dedicada a pasturas, no han ido acompañados de la evaluación integral de su sustentabilidad económica y ambiental. El presente trabajo tiene por objetivo valorar de forma integral el impacto ambiental y económico de rotaciones de cultivo y sistemas de producción agropecuarios, mediante la elaboración de un modelo matemático multicriterio y la utilización de los datos primarios para la construcción de los indicadores económicos y ambientales, en dos establecimientos CREA de la Región Centro y en dos periodos de análisis. El diseño de un modelo de Programación Matemática Multicriterio fue utilizado para identificar y cuantificar los conflictos entre atributos económicos y ambientales en dos sistemas de producción regionales que evolucionaron de forma diferencial en el tiempo: uno de ellos pasó de ser un sistema mixto de cultivos agrícolas e invernada bovina a producción de cultivos agrícolas anuales, mientras que el otro mantuvo su actividad mixta de cultivos agrícolas e invernada bovina. Los atributos evaluados en la dimensión económica fueron Margen Bruto Global (MBG), Capital de Trabajo (CT) y Riesgo Económico (RE), mientras que la dimensión ambiental incluyó Pérdida de Suelo por erosión (PS), Balance de Materia Orgánica del Suelo (BMOS) y Dependencia Energética (DE). En términos generales, los sistemas evolucionaron en el tiempo favorablemente en MBG, PS y BMOS, lo cual implica una mejora de la renta junto a mejora en la dimensión ambiental evaluada a través de estos atributos, mientras que han sufrido deterioros en los atributos RE, CT y DE, lo cual implica que los productores se encuentran con sistemas de producción más dependientes de insumos externos y más riesgosos en términos económicos. Estos cambios fueron iguales en dirección en los dos sistemas de producción, pero más intensos en el sistema que especializó más fuertemente su esquema productivo y actualmente solo tiene a la agricultura como actividad. Las alternativas de cultivo y tecnológicas actualmente tenidas en cuenta por los productores implican un fuerte conflicto entre la maximización de la renta y el alcance de planteos productivos de

menor dependencia de insumos energéticos o menos riesgosos. Estas relaciones y conflictos no son modificados ante cambios esperables en las relaciones de precios de insumos o productos o de las restricciones de rotación de los productores.

## PALABRAS CLAVE

Sustentabilidad; Rotaciones; Atributos Ambientales; Atributos Económicos; Programación Multicriterio; Córdoba, Argentina.

## ABSTRACT

**Multi-Criteria environmental and economic assessment of short and long-term rotations in farms of the central region of CREA (Regional Consortium of Agricultural Experimentation), Córdoba, Argentina.**

Changes occurred in the last ten years in the agricultural production systems of the southern region of Cordoba, Argentina, have not been integrally evaluated in the economic and environmental dimensions. The main changes are the specialization of crops, the rise in the area devoted to annual crops and a simultaneous reduction of the area with pastures or grasslands. The main objective of this paper is to assess the economic and environmental outcomes of different crop rotations and agricultural production systems, by means of a multi-criteria decision making model and the use of primary data to define environmental and economic indicators in two farms associated to the Regional Consortium of Agricultural Experimentation (CREA). The study was conducted using data of two time periods in order to analyze the evolution of these systems. The design of a multicriteria model was used to identify and quantify the conflict between economic and environmental attributes of sustainability in two representative farms whose production system evolved in a different way: on the one hand, a farm that changed the production system from a mixed livestock and annual crops to an annual crops specialized system, and on the other hand a farm that maintain a mixed livestock and annual crop production system. The attributes evaluated in the economic dimension were Global Gross Margin (GGM), Working Capital (WC) and Economic Risk (ER), while the environmental dimension included Soil Loss by Water Erosion (SLE), Soil Organic Matter Balance (SOMB) and Energetic Dependence (ED). In general terms, the systems have evolved favorably in GGM, SLE and SOMB. This

implies that the farmers could improve his income and simultaneously reduce the soil erosion process and improve his soil organic balance. However they have suffered losses in the WC, ER and ED attributes, and the farmers have systems with a higher dependence of inputs and more risky in economic terms. These changes were in same direction in both farms, but the intensity of them was higher in the system that specialized his crop rotation. Nowadays, the alternatives of crops and technology taking on mind by the farmers implies a strong conflict between the income maximization and the achievement of production systems with less energetic dependence or less risky. These conflicts between attributes are not modified in view of normal changes in the input/output prices or in the main constraints of the farmers.

### KEYWORDS

Sustainability; Crop rotation; Environmental attributes; Economic attributes; Multi-Criteria Decision Making, Córdoba, Argentina.

# **I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

## **I.1. La sustentabilidad en los sistemas de producción agropecuarios. Caracterización del problema.**

La producción agropecuaria es actualmente una de las actividades humanas más importantes, no solo en su función de producción de alimentos para reducir la inseguridad alimentaria ante una demanda mundial creciente (FAO, 2006; Tilman et al., 2002), sino también como el principal administrador de los recursos naturales del mundo (FAO, 2009) y por tanto responsable de la mejora en los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas y de la reducción del deterioro de los recursos (FAO, 2007).

La agricultura moderna, a veces llamada agricultura industrial<sup>1</sup>, ha mostrado una gran capacidad para aumentar la producción de alimentos y fibras (Foley et al., 2005; Tilman et al., 2002). El aumento de la producción agrícola entre 1961 y 2005 a una tasa del 2,3% anual, mayor que la tasa de crecimiento poblacional, del 1,7% anual, (FAO, 2007) indica claramente este hecho. Sin embargo, este crecimiento de la agricultura ha estado acompañado de procesos de degradación de los recursos naturales sobre las que se asienta (FAO, 2007; Matson et al., 1997), como erosión del suelo, mayor incidencia de enfermedades y plagas, alta dependencia de recursos no renovables (energía fósil) en los sistemas de producción, pérdidas de fertilidad del suelo y crecientes emisiones de gases de efecto invernadero (FAO, 2003; Hall et al., 1986; Jackson, 2002; Lal, 2001; Tilman, 1998). En este sentido, cabe resaltar el rol central de la agricultura, ya que además de contribuir al problema y sufrir sus consecuencias, a la vez ofrece posibles soluciones para la mejora de los servicios ambientales y la reducción de la degradación de los recursos (FAO, 2007).

De hecho, en la literatura se cuestiona la sustentabilidad ambiental del nuevo modelo de modernización agropecuaria (Flores y Sarandón, 2002; Rabinovich y Torres, 2004; Tittone, 2004; Viglizzo y Roberto, 1998; Viglizzo et al., 2001). Mientras tanto, otros autores manifiestan que los cambios de uso de la tierra y la modernización de la agricultura asociada a tecnologías específicas como la siembra directa, la generalización de cultivos transgénicos y la rotación han reducido su impacto sobre el ambiente (Derpsch, 2005; Trigo y Cap, 2003).

Junto con el cuestionamiento de la agricultura moderna, surgen distintas alternativas, amparadas bajo la concepción de sistemas de agricultura sustentable (Gold, 1999). En estos sistemas se promueve la rotación variada de cultivos, integración de actividades ganaderas con agrícolas, reducción de la dependencia de insumos externos, rotaciones de largo plazo incluyendo pasturas, manejo integrado de plagas y nutrientes,

---

<sup>1</sup>: Si bien el concepto de agricultura industrial es variable entre países y sistemas de producción, comparte varias características: utilización intensiva de insumos energéticos externos (energía fósil, pesticidas y fertilizantes), rápida innovación tecnológica, importantes inversiones en capital, producciones a gran escala, repetición de cultivos entre años, cultivo de híbridos de alto rendimiento y alta uniformidad genética, alta eficiencia de la mano de obra y gran dependencia de los agronegocios (Gold, M.V. 1999. Sustainable agriculture: definitions and terms. National Agricultural Library. Agricultural Research Service. USDA.)

mantenimiento de la cobertura superficial a través de labranza conservacionista, y otras prácticas de conservación de suelo (FAO, 2003; FAO, 2007; Viglizzo et al., 1997).

En el protocolo específico de cooperación FAV-UNRC<sup>2</sup> y AACREA<sup>3</sup> Región Centro (AACREA y FAV, 2006) se manifiestan las demandas de conocimiento y de evaluaciones de la sustentabilidad de los sistemas productivos existentes en la región y valoración integral de sistemas de producción con rotaciones de corto y largo plazo.

Muchos estudios que incluyen varios atributos para evaluar sistemas de producción agropecuarios no incorporan la dimensión ambiental como un objetivo sino que evalúan los aspectos ambientales luego de seleccionar el uso de la tierra y tecnología de producción con un criterio económico exclusivamente (Gómez-Limón y Berbel, 2000; Pacini et al., 2004a; Riesgo y Gómez-Limón, 2006), utilizan umbrales para los indicadores ambientales como restricciones para los modelos (Dogliotti et al., 2004; Pacini et al., 2004a) o directamente no toman en cuenta la dimensión ambiental (Bocco et al., 2002; Gómez-Limón et al., 2003; Sumpsi et al., 1996).

Asimismo, es poco frecuente encontrar estudios que integren, a escala predial, indicadores de las dimensiones económica y ambiental en modelos que permitan establecer conflictos entre ellos, cambiar ponderaciones otorgadas a cada uno y modelar sistemas de producción que satisfagan a la vez ambas dimensiones de la sustentabilidad. Algunos ejemplos de este tipo de estudios en escala predial a nivel mundial son de Koeijer et al., (1995) para un sistema de producción de cultivos agrícolas y pasturas en Holanda y deVoil et al., (2006) para sistemas de producción agrícolas australianos.

Por otro lado, los estudios de evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de la región centro-sur de Córdoba, se han concentrado con frecuencia en la evaluación de la erosión de suelo como único atributo (Cisneros et al., 2004; de Prada et al., 2005) o bien han integrado atributos ambientales y económicos desde fuentes de información secundaria (de Prada, 2001). En la literatura revisada en esta región en particular, así como en Argentina, no existen estudios a nivel de explotación agropecuaria que desarrollen una metodología que permita integrar las dimensiones técnica, económica y ambiental con datos primarios de sistemas de producción

---

<sup>2</sup> FAV-UNRC: Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto.

<sup>3</sup> AACREA: Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria.

agropecuarios y que consideren simultáneamente los objetivos que el productor persigue y aquellos destacados en la literatura como relevantes para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción.

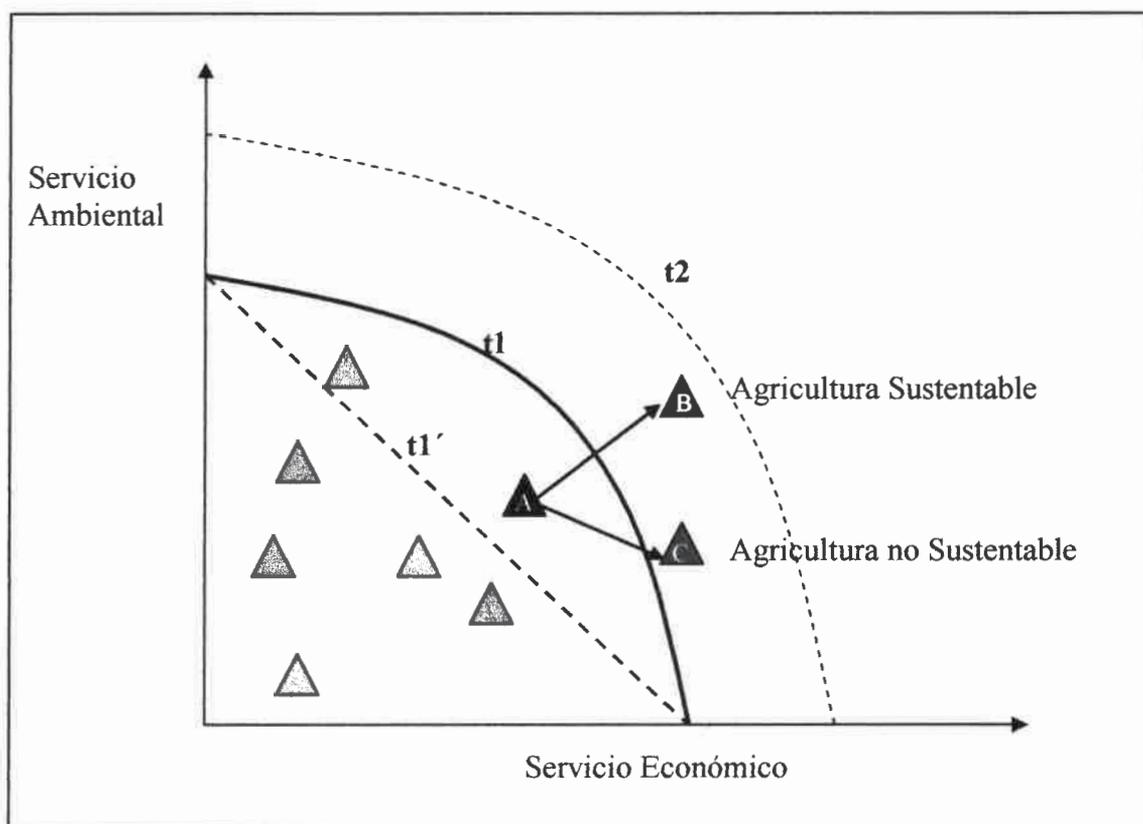
El aporte del presente trabajo a la evaluación de la sustentabilidad se materializó con el diseño de un modelo matemático que permitió la valoración y comparación del impacto económico y ambiental de diferentes decisiones acerca del uso de la tierra a nivel de establecimiento agropecuario, la identificación y cuantificación de los conflictos entre economía y ambiente en escala predial, la definición de la evolución de estos conflictos ante cambios en el uso de la tierra y la determinación de las distancias existentes entre la situación real de cada productor agropecuario y diversas situaciones eficientes de compromiso considerando objetivos económicos y ambientales de interés.

El estudio se realizó con datos de dos explotaciones agropecuarias de la Región Centro de AACREA, cuyos sistemas de producción evolucionaron de forma diferente; en un caso el productor especializó su sistema de producción, originalmente mixto, en cultivos agrícolas en los últimos 10 años, mientras que el otro productor mantuvo su sistema en producción mixta, con agricultura y ganadería de invernada bovina. Se seleccionaron 6 atributos que integran los objetivos económicos y ambientales relevantes para el productor, los técnicos y la bibliografía especializada, 1) Margen bruto global (MBG), 2) Capital de Trabajo (CT) y 3) Riesgo económico (RE) representan la **dimensión económica**, mientras que 4) Pérdida de suelo por erosión (PS), 5) Balance de materia orgánica de suelo (BMOS) y 6) Dependencia de energía externa (DE) representan la **dimensión ambiental**. Se evaluaron usos de la tierra agrícola y ganadera, con 8 cultivos agrícolas, maíz de primera, maíz de segunda, trigo (y otros cultivos de invierno para grano), soja de primera, soja de segunda, girasol, sorgo y maní y actividades ganaderas de invernada con bovinos con la posibilidad de alimentación con pasturas anuales y perennes, confección de reservas y suplementación energética. Cada uno de estos usos de la tierra y rubros de producción se combinaron con los planteos tecnológicos y de tenencia de la tierra sobre los que el productor agropecuario decidió en dos periodos representativos del cambio en los sistemas de producción y se afectaron por sus respectivas restricciones de tierra, trabajo, capital y técnicas.

## **I.2. Hipótesis y Objetivos**

Se hipotetiza que el aumento de la rentabilidad económica de las empresas agropecuarias de la región centro-sur de Córdoba, Argentina en los últimos años estuvo inversamente relacionado al comportamiento experimentado por sus indicadores ambientales y que existen alternativas de producción que podrían romper o atemperar esa asociación, atendiendo la mejora en indicadores económicos y ambientales en forma simultánea.

El Esquema I-1 es una representación de la hipótesis propuesta en una versión simplificada para un par de atributos ambientales y económicos. La curva con línea llena indica el grado de alcance del atributo económico en relación al ambiental en un determinado momento ( $t_1$ ). Distintas formas de la curva ( $t_1$  y  $t_1'$ ) indican diferente intensidad del conflicto entre los atributos, esto quiere decir que la mejora en un atributo puede requerir más o menos resignación del otro y es una medida de su grado de conflicto. Asimismo es posible evaluar el movimiento de la curva entre dos períodos ( $t_1$ ;  $t_2$ ) para definir la evolución del conflicto. Por último, la ubicación del productor agropecuario en estudio en cada momento, permitirá responder si un aumento de los servicios económicos se logró a expensas de calidad ambiental (de A hacia C) o junto a una mejora en este sentido (de A hacia B).



**Esquema I-1: Representación de la relación entre servicio económico y servicio ambiental para dos momentos ( $t_1$  y  $t_2$ ), con 2 formas posibles para  $t_1$  ( $t_1$  y  $t_1'$ ). Ubicación de productores agropecuarios en relación a la curva  $t_1$  (por ejemplo Triángulo A) y posible evolución ante cambio en la frontera de eficiencia (Triángulos B y C).**

Fuente: elaboración propia

El objetivo general de este trabajo es valorar de forma integral el impacto ambiental y económico de rotaciones de cultivo y sistemas de producción agropecuarios mediante la elaboración de un modelo matemático multicriterio. Se utilizan datos primarios para la construcción de los indicadores económicos y ambientales en dos establecimientos CREA de la Región Centro en dos periodos de análisis.

Como objetivos específicos, se pretende:

- Desarrollar un modelo matemático de programación multicriterio por restricciones, por compromiso y por metas, que permita integrar los atributos económicos y ambientales de sistemas de producción agropecuarios del centro-sur de Córdoba.

- Calcular el óptimo de cada uno de los indicadores para la dotación de recursos de los sistemas de producción estudiados y para las restricciones técnicas establecidas en cada uno de los periodos de evaluación.
- Estimar la distancia entre la situación actual y el óptimo para cada uno de los indicadores, su evolución en el tiempo y las posibilidades de cubrir las brechas existentes con la situación óptima,
- Analizar la ocurrencia de conflicto entre pares de indicadores económicos y ambientales y determinar su frontera de eficiencia.
- Identificar alternativas de producción con un criterio de satisfacción de atributos y objetivos económicos y ambientales.

## **II. ANTECEDENTES.**

El alcance de un estado en el cual la producción de alimentos y fibras continúe aumentando mientras que a la vez se reduzcan los impactos ambientales negativos es uno de los mayores desafíos de la humanidad, dados los conflictos entre metas económicas, ambientales y sociales que surgen en el desarrollo económico en general (Munda, 2005) y a nivel de los sistemas de producción agropecuarios en particular (Tilman et al., 2002).

En Sudamérica y particularmente en nuestro país, se registran procesos de intensificación y especialización de sistemas de producción agropecuarios en los últimos años (Chudnovsky et al., 1999; Dogliotti et al., 2004; Viglizzo y Jobbágy, 2010).

En este sentido, importa conocer cómo la intensificación y especialización afectan la relación entre los sistemas de producción, rotaciones y su sustentabilidad y

generar alternativas de modelación que incluyan la multidimensionalidad del concepto de sustentabilidad en la escala predial.

En el presente capítulo se manifiesta la naturaleza multidimensional del concepto de sustentabilidad y se resumen hallazgos informados en la bibliografía acerca de cómo influyen los sistemas de producción y las rotaciones en sus diferentes dimensiones. Asimismo, se destacan los principales indicadores de sustentabilidad ambiental y económica hallados en la literatura de referencia y por último se presentan el tipo de análisis y los aportes realizados por trabajos que utilizan programación matemática multicriterio en distintas escalas de percepción para el análisis de la sustentabilidad en la agricultura.

## **II.1. Sustentabilidad**

En general, existe un amplio consenso en definir a la sustentabilidad como un concepto multidimensional que incluye aspectos económicos, ambientales y sociales en el corto y largo plazo (Andrade Pérez y Navarrete Le Blas, 2004; Antoine et al., 1997; Colby, 1990; Meyer-Aurich, 2005; Rabinovich y Torres, 2004). Aplicado a la agricultura, el concepto de sustentabilidad describe a los sistemas de producción que pueden mantener su productividad y utilidad para la sociedad de forma indefinida y usualmente se plantea la agricultura sostenible como alternativa en relación a la agricultura convencional o industrial (Gold, 1999; Hansen, 1996).

Si bien el término sustentabilidad suele plantearse como la optimización simultánea de metas biológicas, económicas y sociales, la realidad indica que son necesarias soluciones de compromiso ya que el análisis de la sustentabilidad es esencialmente un análisis de conflicto (Munda, 2005).

Pacini et al (2004b) y Van Leeuwen et al. (2001) indican que la sustentabilidad implica decisiones con múltiples objetivos, y que los tomadores de decisión se enfrentan frecuentemente con el problema de cómo asignar de la mejor forma sus recursos limitados hacia esos objetivos, que muchas veces entran en conflicto. Asimismo, Antoine et al., (1997) destacan que las decisiones de uso sustentable de la tierra

deberían estar basadas en cuantificaciones de los factores biofísicos, ambientales y socio-económicos.

En este sentido, varios autores plantean la necesidad de desarrollar modelos que busquen el balance entre objetivos productivos y económicos con objetivos ambientales (Dogliotti et al., 2004; Osinski et al., 2003; Viglizzo et al., 2001), aún cuando la integración de indicadores de sustentabilidad biofísicos, económicos y ambientales tenga la limitación de desuniformidad en las escalas y unidades de medición (Rigby et al., 2001).

## **II.2. Sistema de producción, rotaciones y sustentabilidad.**

Los sistemas mixtos de producción agrícola-ganaderos de Argentina son considerados dentro de la agricultura de baja utilización de insumos externos<sup>4</sup> (Viglizzo et al., 2001). En ellos, las rotaciones de largo plazo (entendidas como aquellas que incluyen pasturas perennes), se enmarcan dentro de alternativas ecológicamente más favorables debido a que según Viglizzo et. al. (2001), representan estados de sucesión vegetal más avanzados, de mayor estabilidad que las rotaciones altamente simplificadas características de los sistemas de producción con agricultura permanente. Asimismo, las rotaciones o intercultivos son reconocidas estrategias que pueden mejorar la eficiencia de uso del agua, aumentar el ciclaje de nutrientes, reducir pérdidas por pestes y enfermedades y mejorar la duración de tecnologías de control de adversidades, reduciendo los impactos ambientales (Matson et al., 1997; Tilman et al., 2002), mejorando niveles orgánicos del suelo (Berzsenyi et al., 2000; Dogliotti et al., 2004; Eiza et al., 2006) y disminuyendo la pérdida de suelo por erosión (Dogliotti et al., 2004). Asimismo, una de las desventajas de las rotaciones mixtas agrícolas-ganaderas, citada por estos autores, es la complejidad en el manejo del sistema.

Las transformaciones operadas en las últimas décadas por los productores agropecuarios y nuevos actores vinculados a la producción agropecuaria en la región pampeana argentina están convirtiendo el sistema mixto de producción en un sistema

---

<sup>4</sup> : LEISA: por su sigla en inglés (Low External Input Sustainable Agriculture)

más especializado en cultivos anuales y con mayor utilización de insumos externos (de Prada et al., 2005; Viglizzo et al., 2001) y posiblemente perdiendo parte de las virtudes citadas anteriormente.

Numerosos estudios incorporan la dimensión ambiental en la evaluación de sistemas de producción mediante técnicas de programación multicriterio (ver Modelos matemáticos multicriterio en el apartado II.4) y analizan la estrecha relación de los indicadores ambientales con la secuencia de cultivos (Tabla II-1), destacándose la influencia positiva de rotaciones que incluyen mayor cantidad y diversidad de cultivos, pasturas y cultivos en diferentes estaciones del año sobre los atributos ambientales (reducción de pérdida de suelo por erosión, menor utilización de fertilizantes, aumento en los tenores orgánicos del suelo).

**Tabla II-1: Efecto de las rotaciones sobre indicadores ambientales citados en la literatura.**

Autores (Año). Lugar	Indicadores ambientales (IA)	Relación con la rotación de cultivos
Meyer-Aurich (2005) Alemania	Pérdida de Suelo (PS)	Reducciones de la PS del orden del 20-50% requieren el uso de cultivos de cobertura. Reducciones mayores de la PS necesitan otros cambios en la rotación, con mayor inclusión de gramíneas de invierno.
Lu y van Ittersum (2004). China	PS Utilización de fertilizantes	Pueden lograrse importantes reducciones en la PS y en el uso de fertilizantes nitrogenados a través de la incorporación de la alfalfa a la rotación de cultivos.
Lakshminarayan et al., (1995). Estados Unidos	Contaminación del agua PS	Cuando se tienen en cuenta los indicadores ambientales, los modelos arrojan rotaciones más complejas y largas.
Kelly et al., (1996). Estados Unidos	Erosión de suelo, calidad medioambiental (destino ambiental de nitrógeno, fósforo (P) y herbicidas).	La inclusión de cultivos de cobertura en el esquema rotacional puede reducir de forma importante la erosión de suelo así como las pérdidas de P.
West y Post (2002) – Revisión de trabajos.*	Materia orgánica de suelo (MOS)	La inclusión del cultivo de trigo en las rotaciones con cultivos de segunda siembra (girasol o leguminosas) provoca aumentos en los contenidos orgánicos del suelo. Los cambios favorables en MOS obtenidos por sistemas sin labranza son mayores cuando se realizan bajo rotación de cultivos respecto a monocultivos.
Dogliotti et al., (2004). Uruguay*	Erosión de suelo. MOS	La rotación de cultivos y la utilización de cultivos de cobertura aparecen como prácticas efectivas para reducir las pérdidas de suelo por erosión y mejorar los balances de materia orgánica.
Díaz-Zorita et al., (2002). Argentina*	MOS	La inclusión de pasturas polifíticas, así como una preponderancia en los cultivos de maíz y trigo respecto a soja y girasol tienden a incrementar los contenidos de MOS.

\*: En estos trabajos se mencionan pero no se utilizan técnicas de programación multicriterio.

Fuente: elaboración propia

### **II.3. Indicadores de sustentabilidad**

Teniendo en cuenta que la sustentabilidad es un concepto multidimensional, solo puede ser evaluada utilizando un conjunto de indicadores (Meyer-Aurich, 2005) que integren criterios económicos y ecológicos, permitiendo comprender las complejas interacciones y propiedades de los sistemas que ocurren a campo en los sistemas agrícolas (Osinski et al., 2003) y llegar a herramientas que permitan un concepto operativo de sustentabilidad en la agricultura (Rigby et al., 2001). La selección de los indicadores es un tema muy importante, ya que determina los resultados de las evaluaciones y sus posibles aplicaciones en los sistemas económicos (Meyer-Aurich, 2005).

Existe en los trabajos realizados con programación matemática multicriterio, un desbalance entre la cantidad de objetivos económicos y ambientales utilizados. Así, en su revisión sobre el tema, Hayashi (2000) destaca que hasta esa fecha, atributos económicos como nivel de retorno, productividad de la mano de obra y fluctuación del retorno o riesgo son incorporados en los trabajos a nivel predial en un 94, 59 y 41% respectivamente, mientras que solo 5% de los trabajos de esa escala y 40% de los trabajos en escala regional utilizan atributos ambientales.

A continuación se destacan los indicadores ambientales y económicos relevados en trabajos que utilizan metodologías multicriterio. Solo fueron seleccionados aquellos trabajos que incluyeran ambos tipos de atributos.

Los indicadores ambientales seleccionados en los trabajos de investigación están relacionados con los recursos naturales que se quieren proteger y con principales impactos ambientales detectados en cada sitio. Existen numerosas formas de medición o estimación de los mismos (Tabla II-2).

La pérdida de suelo por erosión es uno de los indicadores más utilizados en las evaluaciones multicriterio y normalmente se utiliza la ecuación universal de pérdida de suelo como metodología de estimación. La pérdida de suelo es la cantidad de suelo removida por el agua y transportada desde un sitio particular, mientras erosión de suelo es la cantidad de sedimentos que llega a un sitio de interés.

La contaminación del agua con nitrógeno, fósforo, agroquímicos y fertilizantes son atributos también incluidos en la mayor parte de los trabajos como indicadores del impacto ambiental de los sistemas de producción. En general la forma de estimar estos indicadores es a través de la utilización de modelos de simulación. Otro atributo normalmente muy utilizado es la valoración energética de los insumos que se incluyen en los sistemas de producción o el balance entre la producción y la utilización de insumos en agricultura. Otros atributos como la diversidad de especies, cobertura del suelo o producción de gases de efecto invernadero también son tenidos en cuenta en los trabajos multicriterio.

**Tabla II-2: Indicadores ambientales utilizados en la bibliografía en relación a los impactos ambientales (IMA) y formas de medición o estimación.**

Autores. Lugar	Sistema de producción	Principales IMA detectados	Indicadores ambientales	Forma de medición o estimación
Meyer-Aurich (2005). Alemania	Sistema mixto, cabaña y cultivo de papa, maíz y trigo de invierno	Contaminación de acuíferos, pérdida de suelo y producción de gases de efecto invernadero	Balance de nitrógeno (N)	Diferencias entre entradas como fertilizantes, bosteo animal y fijación biológica y salidas como productos agropecuarios.
			Energía utilizada	Sumatoria de todas las fuentes de energía primaria aplicadas al sistema.
			Pérdida de Suelo (PS)	USLE <sup>5</sup> .
			Potencial de calentamiento global	Sumatoria de emisiones de GEI <sup>6</sup> en equivalentes CO <sub>2</sub> .
Lu y van Ittersum (2004). China	Cultivos agrícolas, frutales, producción de leña, pastizales y actividades ganaderas	Contaminación de acuíferos, pérdida de suelo, pérdida de biodiversidad	Pérdida de suelo y N Uso de fertilizantes Uso de biocidas	Modelo de simulación EPIC <sup>7</sup> , validado con datos empíricos y experimentales del área.
Riesgo y Gómez-Limón (2006). España	Agricultura bajo riego	Uso excesivo de agua de riego, Contaminación de acuíferos, pérdida de suelo, pérdida de biodiversidad	Diversidad genética	Número de especies de cultivo diferentes.
			Cobertura de suelo	% de días en los que la cobertura protege el suelo.
			Uso de agua	Agua de riego demandada.
			Balance de nitrógeno	Diferencias entre entradas y salidas de N (energía) a los sistemas de cultivo.
			Balance energético	
Riesgo por pesticidas	Biomasa de organismos que mueren por aplicaciones de pesticidas.			
De Prada et al., (2008). Argentina	Agricultura y ganadería bovina	Erosión de suelo	Erosión y pérdida de suelo	RUSLE <sup>8</sup> .
Lakshminarayan et al., (1995), Estados Unidos	Agricultura de secano	Contaminación de acuíferos, pérdida de suelo	Lixiviado de nitratos Pérdida de suelo Lixiviado de atrazina	EPIC modificado.
de Prada (2001). Argentina	Agricultura y ganadería bovina	Erosión de suelo	Maximización de precipitación efectiva	Método de la curva número.
Kelly et al., (1996). Estados Unidos	Agricultura en secano/cultivos de cobertura	Contaminación de acuíferos, pérdida de suelo	Erosión de suelo Destino de N, P y herbicidas	EPIC.
Dogliotti et al., (2004). Uruguay	Cultivos e intercultivos agrícolas en secano y riego	Erosión de suelo	Erosión de suelo	RUSLE.

Fuente: elaboración propia

<sup>5</sup> USLE: siglas en inglés para ecuación universal de pérdida de suelo.

<sup>6</sup> GEI: gases de efecto invernadero

<sup>7</sup> EPIC: Erosion Productivity Impact Calculator

<sup>8</sup> RUSLE. Siglas en inglés para ecuación universal de pérdida de suelo revisada

Los indicadores económicos juegan un rol cada vez más preponderante en la conservación de la naturaleza (Osinski et al., 2003). En la mayoría de los trabajos realizados con programación matemática multicriterio se incluyen indicadores económicos relacionados con el retorno de la actividad económica, usualmente medido como el margen bruto agregado del conjunto de actividades agropecuarias a escala predial (de Prada et al., 2008; deVoil et al., 2006; Dogliotti et al., 2004; Meyer-Aurich, 2005) o retorno agrícola neto para trabajos en escala regional (Lakshminarayan et al., 1995; Lu y van Ittersum, 2004; Zekri y Romero, 1993).

Asimismo, es reconocido que las actividades agropecuarias presentan un alto grado de incertidumbre respecto a su resultado económico debido a factores climáticos, técnicos y de mercado y que la relación entre retorno económico y riesgo de un conjunto de actividades agropecuarias son el par de indicadores de mayor importancia a tener en cuenta en la toma de decisión de asignación de capital a diferentes actividades económicas en general (Ballesteros y Cohen, 1998) y agrícolas en particular (Portillo et al., 2005). Es por ello que el riesgo económico, medido como variabilidad del margen bruto a escala predial (de Prada et al., 2008) o como porcentaje de años con margen bruto menor a los costos fijos (deVoil et al., 2006) es un indicador económico incorporado en estos trabajos, ya que el resultado económico efectivamente realizado integra la variabilidad atribuible a clima, tecnología y mercado. En este sentido, es esperable que una empresa con actividades más diversas genere menor riesgo debido a la compensación de resultados entre ellas (Bravo-Ureta et al., 2006; Portillo et al., 2005). A escala predial también se observa el uso de indicadores que miden la disponibilidad de capital para hacer frente a un ciclo de producción (de Prada et al., 2008). Mientras tanto, a escala regional la bibliografía revisada incluye indicadores socio-económicos que reflejan la problemática específica de cada área, por ejemplo autosuficiencia alimentaria en el distrito de Bungoma de Kenia (Antoine et al., 1997), utilización de mano de obra temporaria en una micro-región bajo riego de España (Zekri y Romero, 1993) o producción total de alimentos de la región en la meseta loessica China (Lu y van Ittersum, 2004).

## **II.4. Modelos matemáticos multicriterio**

El paradigma del Análisis de Decisión Multicriterio (ADM) (Ballester y Romero, 1998) se ha desarrollado para poder incluir más de una dimensión en la toma de decisión sobre la asignación de recursos en las actividades productivas, constituyéndose en una herramienta de alto potencial para incluir la dimensión ambiental en la toma de decisión en las organizaciones (Antoine et al., 1997; Hayashi, 2000) e identificar la interacción y el posible conflicto entre los distintos objetivos de los tomadores de decisión (Lu y van Ittersum, 2004).

Teniendo en cuenta que la sustentabilidad económica tiene un costo ecológico y la sustentabilidad ecológica tiene un costo económico, un marco de integración como la evaluación multicriterio es necesario para trabajar el tema de la sustentabilidad apropiadamente (Munda, 2005).

Dentro del marco multidimensional de la agricultura y del propio concepto de sustentabilidad, es reconocido que los agricultores no siempre tratan de maximizar una función de utilidad bien definida, sino más bien basan su toma de decisión en un compromiso entre múltiples objetivos (Gómez-Limón et al., 2003; Sumpsi et al., 1996; Tamiz et al., 1998).

El análisis de conflicto entre indicadores por medio de matrices de pago (Lu y van Ittersum, 2004; Van Leeuwen et al., 2001) o compensaciones entre los atributos (de Prada et al., 2008; deVoil et al., 2006; Lu y van Ittersum, 2004; Meyer-Aurich, 2005; Van Leeuwen et al., 2001) puede ser una primera aproximación al análisis multicriterio.

La programación por metas, en tanto, permite generar una solución con un criterio de satisfacción, fuera del óptimo de cada objetivo individual, donde se minimizan las desviaciones de los atributos en relación a los niveles de aspiración del tomador de decisión respecto a cada objetivo (Ballester y Romero, 1998). Algunas aplicaciones de la técnica pueden ser la determinación de las ponderaciones que efectivamente dan los tomadores de decisión a cada objetivo (de Prada, 2001; Sumpsi et al., 1996), el efecto de políticas públicas sobre las decisiones de tomadores de decisión individuales (Gómez-Limón y Berbel, 2000; Zekri y Romero, 1993), o la planificación de cultivos a nivel nacional (Sarker y Quaddus, 2002).

Los atributos considerados en aquellos trabajos en los que se integra la dimensión ambiental junto a otras dimensiones de la sustentabilidad, así como la escala de análisis y las metodologías de evaluación dentro del paradigma del ADM, son variados (Tabla II-3).

**Tabla II-3: Atributos considerados en las valoraciones con modelos matemáticos multicriterio en la literatura.**

Autores (Año) Lugar	Sistema de producción	Tipo de análisis	Dimensión	Atributos utilizados - Objetivo <sup>9</sup>		Escala de análisis
Meyer-Aurich (2005). Alemania	Sistema mixto, cabaña y cultivo de papa, maíz y trigo de invierno	Matriz de pago Compensaciones	Ambiental	Balance de nitrógeno	Max	Predio experimental
				Energía utilizada	Min	
				Pérdida de Suelo (PS)	Min	
				Potencial de calentamiento global	Min	
			Económica	Margen Bruto (MB)	Max	
Van Leeuwen et al., (2001). Chile	Cultivos agrícolas y frutales	Matriz de pago Compensaciones	Ambiental	Erosión de suelo (ES)	Min	Regional
			Económica	MB	Max	
de Prada et al (2008). Argentina	Agricultura y ganadería bovina	Matriz de pago Compensaciones	Ambiental	ES y PS	Min	Predial representativo de una cuenca
			Técnica	Dificultad del sistema	Min	
			Económica	Capital de Trabajo	Min	
Lu y van Ittersum (2004). China	Cultivos agrícolas, frutales, 17roducción de leña, pastizales y actividades ganaderas	Matriz de pago Compensaciones	Ambiental	PS	Min	Regional
				Pérdida de N	Min	
				Uso de fertilizantes	Min	
				Uso de biocidas	Min	
			Productiva	Productividad laboral	Max	
				Productividad de los cultivos	Max	
				Costo de producción	Min	
Socio-económica	Empleo total en agricultura	Max				
	Producción total	Max				
	Retorno económico	Max				
deVoil et al., (2006). Australia	Cultivo de cereales, oleaginosas, cultivos para fibra y barbecho	Compensaciones algoritmos de evolución.	Económica	MB	Max	Predial
				Riesgo económico	Min	
			Ambiental	ES	Min	
Lakshminarayan et al., (1995). Estados Unidos	Agricultura de secano	Compensaciones	Ambiental	Lixiviado de nitratos	Min	Cuenca
				Escurrimiento de nitratos	Min	
				Lixiviado de atrazina	Min	
				Escurrimiento de atrazina	Min	
				PS	Min	
Económica	Retorno económico	Max				

<sup>9</sup>: Corresponde a la dirección de cambio deseada (Max: maximizar, Min: minimizar)

**Tabla II – 3 (cont): Atributos considerados en las valoraciones con modelos matemáticos multicriterio en la literatura**

Autores (Año) Lugar	Sistema de producción	Tipo de análisis	Dimensión	Atributos utilizados -	Objetivo	Escala de análisis
Zekri y Romero (1993). España	Agricultura bajo riego	Matriz de pago	Ambiental	Energía usada para riego	Min	Política pública Nacional sobre agua de riego
			Económica	Consumo de agua	Min	
				Salinización de los suelos	Min	
Social	Retorno económico	Max				
				Mano de obra temporal	Min	
				Puestos de trabajo	Max	
Antoine et al., (1997). Kenia	Cultivos agrícolas, pasturas, producción de leña, y ganadería bovina, riego y secano	Matriz de pago y Programación por Metas interactiva	Socio-económico	Producción de comida promedio y año malo	Max	Distritos de uso de la tierra (regional)
			Ambiental	Retorno económico	Max	
				Uso de tierra arable	Min	
	Autosuficiencia	Max				
				Erosión total	Min	
				Erosión en zonas	Min	
Dogliotti et al., (2004) Uruguay	Cultivos e intercultivos agrícolas en secano y riego	Programación lineal y por restricciones	Ambiental	ES	* <sup>10</sup>	Regional y predial
			Económica	Balance de materia orgánica		
				Margen Bruto Global	Max	
de Koeijer et al., (1995) Holanda	Agricultura y pasturas	Programación por Metas	Ambiental	Excedente de N	Min	Predial
			Económica	Nivel de agroquímicos	Min	
					Margen Bruto	Max

Fuente: elaboración propia

Mediante este tipo de análisis, muchos de estos trabajos demuestran que con leves resignaciones de los atributos económicos (entre 5-10%) pueden alcanzarse mejoras importantes (del orden del 20-80%) en los atributos ambientales (Tabla II-4). No obstante, los beneficios ambientales derivados de sacrificios económicos son decrecientes al alejarnos del óptimo económico.

<sup>10</sup>: Los objetivos ambientales fueron establecidos como restricciones. Para ES se seleccionan alternativas que no superen un máximo tolerable de acuerdo al tipo de suelo y para BMOS que sea positivo.

**Tabla II-4: Aportes de la bibliografía en relación al conflicto entre economía y ambiente, mediante el uso de análisis multicriterio.**

Autores. (Lugar)	Tipo de análisis	Aporte
Meyer-Aurich (2005). Alemania	Matriz de pago Compensaciones	Se puede reducir la PS en el orden del 20-50% con leves reducciones en el MBG. Se pueden alcanzar PS tolerables (reducción de 30-40%) con reducciones del 5-10% del MBG.
de Prada et al (2008). Argentina	Matriz de pago Compensaciones	Es posible controlar la erosión de suelo en un 78% y alcanzar un 90% del máximo MBG. Si el productor adhiere a la política de conservación de suelo provincial, con esa misma resignación de MBG se puede alcanzar 97% del control de la erosión de suelo
deVoil et al., (2006). Australia	Compensaciones algoritmos de evolución	Se puede alcanzar MBG del orden del 75% del máximo con pérdidas de suelo por erosión tan bajas como 1-2 T.ha <sup>-1</sup>
Kelly et al. (1996)	Compensaciones	Se pueden obtener sustanciales reducciones en las pérdidas de nitrógeno con mínimas resignaciones de ingreso económico a través de la reducción en la fertilización o en las dosis de abonos. Las mejores prácticas desde el punto de vista ambiental (inclusión de cultivos de cobertura y reducción en el uso de fertilizantes), aportan positivamente hacia el logro de los diferentes objetivos ambientales. Los cultivos bajo no labranza tienen buenos resultados económicos y ambientales a excepción del potencial de contaminación por alta necesidad de herbicidas. Hay entonces un alto conflicto entre el riesgo por herbicidas y el resto de las consideraciones ambientales.
de Koeijer (1995). Holanda	Programación lineal y Programación por metas	Una reducción del 40% en el uso de N y del uso de químicos en conjunto puede lograrse con relativamente poca pérdida de ingreso (del orden del 5-17% para sistemas de producción diversificados y especializados respectivamente)
Lu y van Ittersum (2004). China	Matriz de pago Compensaciones	Se puede aumentar la conservación de suelo, obteniendo igual o más producción total en una región (Atributo asociado con la <u>seguridad alimentaria</u> ). Con solo un 5% de resignación de retorno económico puede reducirse un 30% el uso de biocidas, un 50% el de fertilizantes o un 35% los costos de producción. Se puede reducir en un 80% la PS resignando solo 10% de los máximos retornos económicos.

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, algunas referencias indican conflicto entre los propios atributos ambientales o económicos (Tabla II-5)

**Tabla II-5: Aportes de la bibliografía en relación al conflicto entre economía y ambiente, mediante el uso de análisis multicriterio (II).**

Autores (Año) Lugar	Tipo de análisis	Aporte
Meyer-Aurich (2005). Alemania	Matriz de pago Compensaciones	La reducción de la erosión de suelo genera mayores emisiones de gases de efecto invernadero, demanda mayor uso de fertilizantes e incrementa la dependencia de energía externa necesaria para la producción.
Lakshminarayan et al., (1995) Estados Unidos	Compensaciones	Existe un importante conflicto entre los indicadores relacionados a la conservación del recurso agua con los relacionados con la conservación del recurso suelo, y de ambos con los indicadores económicos
deVoil et al., (2006). Australia	Compensaciones algoritmos de evolución	En altos valores de MBG aparecen conflictos entre MBG y Riesgo económico.

Fuente: elaboración propia

En síntesis, la concepción del paradigma de toma de decisión multicriterio (Ballesteros y Romero, 1998) en la que se analiza al decisor en relación a un conjunto de objetivos, se adapta a la necesidad de integrar las dimensiones ambiental, económica y social en el marco de la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios.

La incorporación de los objetivos ambientales en la evaluación de prácticas a través de análisis multicriterio genera alternativas de cultivo ambientalmente más sanas (Lakshminarayan et al., 1995; Meyer-Aurich, 2005). Las evaluaciones que integran indicadores económicos y ambientales muestran en general un bajo costo en términos económicos de realizar prácticas que reduzcan sensiblemente los daños al ambiente (de Prada et al., 2007; Dogliotti et al., 2004; Lu y van Ittersum, 2004) y posibilidades de mejora de varios indicadores económicos y ambientales simultáneamente desde la situación actual (de Prada, 2001; Kelly et al., 1996). Incluso, el uso de este tipo de metodología puede ayudar a comprender y analizar interdependencias entre los propios objetivos ambientales, tal lo planteado por varios autores (Lakshminarayan et al., 1995; Meyer-Aurich, 2005).

Asimismo, cabe destacar el gran uso de modelos de simulación para la estimación de indicadores ambientales en el marco de trabajos con numerosos atributos, donde las determinaciones a campo son más lentas y costosas.

En relación a los aportes de este tipo de metodología en las rotaciones de cultivo, 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), caracterizadas por alto grado de especialización en la selección de cultivos.

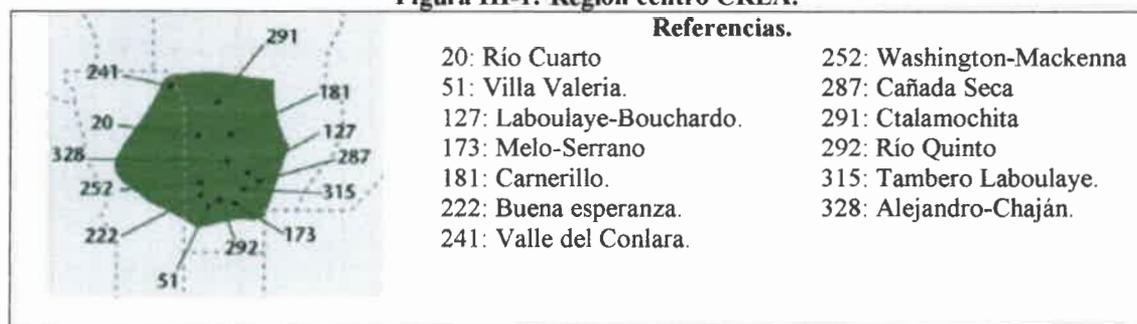
### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **III.1. Ubicación y caracterización ambiental de las situaciones evaluadas**

##### **Características productivas generales del área**

El área de estudio corresponde a la Región Centro de CREA, que abarca el sector centro-sur de la provincia de Córdoba y el oeste de la provincia de San Luis. La Figura III-1 muestra la ubicación de la región y los grupos de productores que la constituyen.

**Figura III-1: Región centro CREA.**



Fuente: [www.aacrea.org.ar](http://www.aacrea.org.ar)

La superficie trabajada por los campos pertenecientes a productores CREA Región Centro, en promedio de los ciclos 2002-2007, corresponde a 223.407 hectáreas. El 61% de esta superficie se dedicó en esos ciclos a actividades agrícolas (más del 75% del área agrícola se destina a los cultivos de soja y maíz), mientras que el 39% restante a producciones ganaderas. Un detalle de la cantidad de hectáreas dedicadas a cada uso de la tierra y rubro de producción, así como las producciones totales y promedio por hectárea se muestran en la Tabla III-1.

**Tabla III-1: Usos, rubros y niveles de producción de los establecimientos de CREA Región Centro. Promedio campañas 2002-03 a 2006-07.**

	Superficie anual promedio (has)	% superficie asignada		Rendimiento promedio (kg.ha <sup>-1</sup> )	Producción total promedio (T.año <sup>-1</sup> )
		Rubro	Región		
<b>Agricultura</b>					
Maíz de primera	31.731	23%	14%	7.617	241.695
Soja de primera	54.764	40%	25%	3.130	171.411
Trigo	18.742	14%	8%	2.661	49.872
Soja de segunda	16.470	12%	7%	2.758	45.424
Maíz de segunda	1.762	1%	1%	6.330	11.153
Girasol	7.996	6%	4%	2.027	16.208
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>135.521</b>	<b>100%</b>	<b>61%</b>		<b>535.764</b>
<b>Ganadería</b>					
Producción de carne	84.359	96%	38%	198	16.703
Producción de leche	3.527	4%	2%	230 (GB)	811
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>87.886</b>	<b>100%</b>	<b>39%</b>		<b>17.514</b>
<b>TOTAL</b>	<b>223.407</b>		<b>100%</b>		

Fuente: Elaboración propia para la serie 2002-07 en base a anuario estadístico (AACREA, 2007a)

GB: grasa butirosa

### Características específicas de los productores seleccionados

Los predios evaluados pertenecen a grupos CREA de la Región Centro, están ubicados en el centro-sur de la provincia de Córdoba, y fueron seleccionados porque cuentan con registros de producción, económicos y de gestión de al menos diez años y representan dos cambios en el uso de la tierra variables durante el periodo de análisis. Sus características edafoclimáticas más relevantes se muestran en la Tabla III-2.

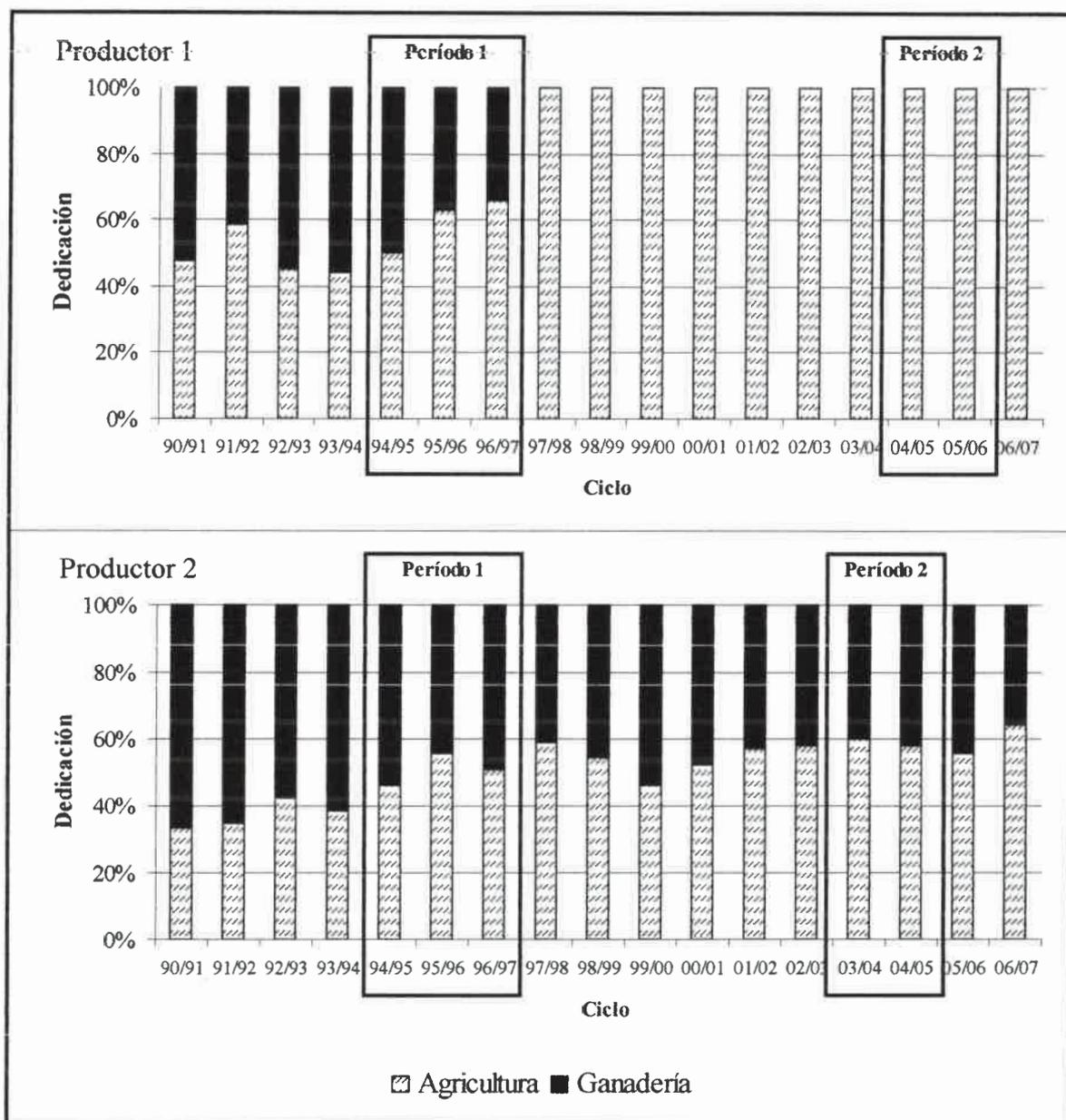
**Tabla III-2: Características edafoclimáticas de los predios de los productores seleccionados.**

	<b>Productor 1</b>	<b>Productor 2</b>
<b>Ubicación (CREA)</b>	CREA Carnerillo	CREA Río Quinto
<b>Suelo</b>		
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%
<b>Clima</b>		
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 productor 1 y serie 1982-2007 para el productor 2 (CRG, 2007).

### **III.2. Uso de la tierra y determinación de periodos de análisis**

Los productores bajo estudio muestran una evolución de uso de la tierra variable en el tiempo (Gráfico III-1). El productor 1 pasó de un planteo mixto de cultivos agrícolas e invernada bovina a agricultura en la totalidad de su superficie desde el ciclo 97-98, mientras que el productor 2 mantuvo un sistema mixto de producción, aunque ha incrementado levemente la proporción de superficie destinada a agricultura.



**Gráfico III-1: Asignación de tierra a agricultura y ganadería en el periodo 1990-2007, productor 1 y 2.**

Fuente: Elaboración propia a partir de registros propios de cada productor.

El periodo 1 de análisis se establece en los tres ciclos 94-95 a 96-97 para los dos productores, teniendo en cuenta que se trata del último ciclo en el que el productor 1 presenta actividad mixta. Mientras tanto el periodo 2 de análisis es 04-05 y 05-06 para el productor 1 y 03-04 y 04-05 para el productor 2. Esta diferencia se debe a la necesidad de que ambos períodos presenten características meteorológicas similares en cada productor (Tabla III-3).

**Tabla III-3: Precipitación promedio y para cada periodo**

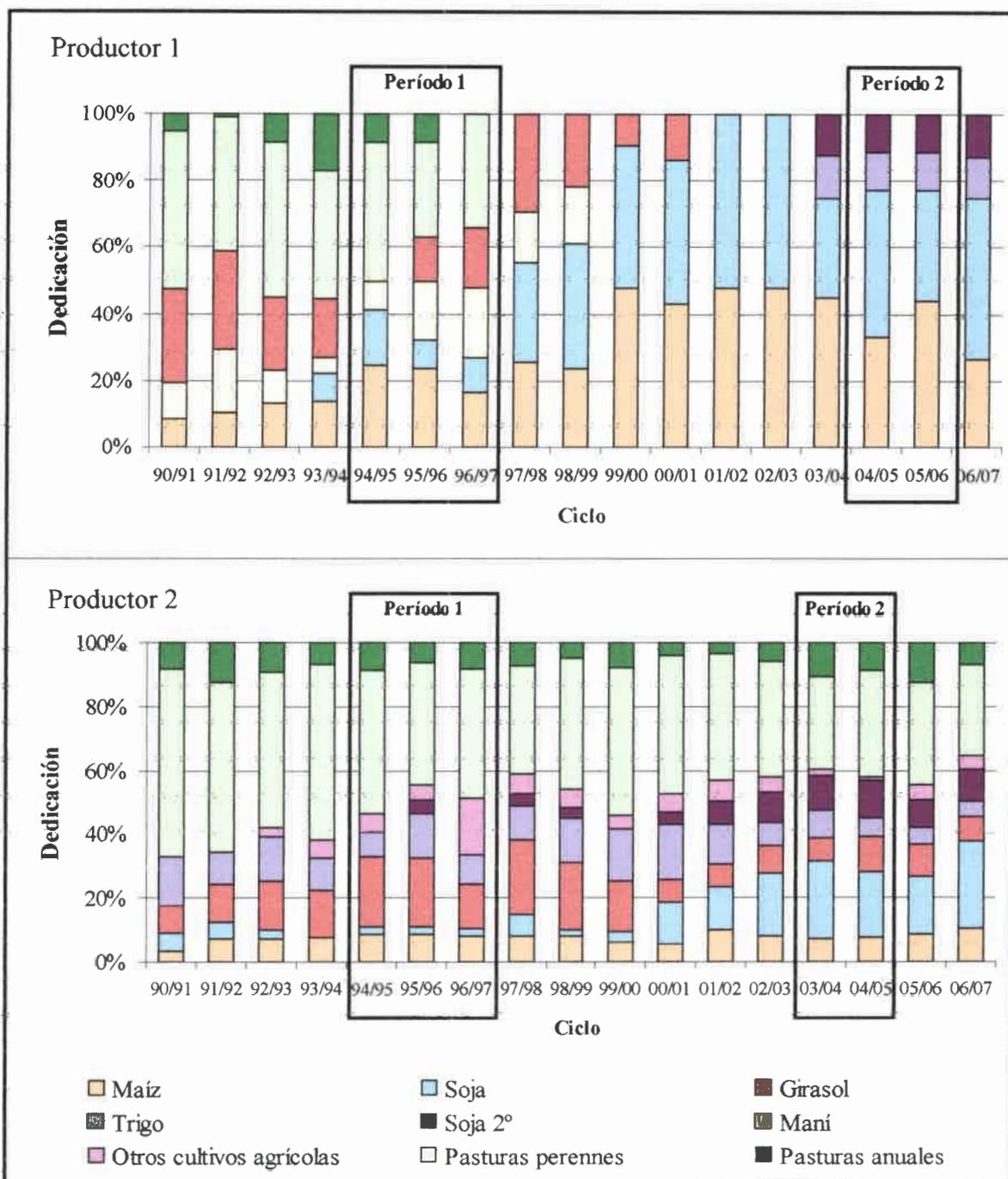
	Productor 1	Productor 2
Precipitación Promedio	856 mm	979 mm
94/95	751 mm	1.089 mm
95/96	904 mm	645 mm
96/97	585 mm	957 mm
03/04	1.007 mm	915 mm
04/05	763 mm	862 mm
05/06	697 mm	822 mm
Precipitación Periodo 1	94/95 a 96/97: 747 mm	94/95 a 96/97: 897 mm
Precipitación Periodo 2	04/05 y 05/06 <sup>*1</sup> : 730 mm	03/04 y 04/05 <sup>*2</sup> : 889 mm

<sup>\*1</sup> El período 03/04 fue eliminado por su alta precipitación.

<sup>\*2</sup> El período 05/06 fue eliminado por la ocurrencia de granizo.

Fuente: Elaboración propia a partir de registros pluviométricos de cada productor, serie 1984-2006 para el productor 1 y serie 1982-2007 para el productor 2 (CRG, 2007)

Para cada uno de estos periodos, los productores definieron sus sistemas de producción seleccionando distintas alternativas de uso de la tierra (Gráfico III-2). El productor 1 pasó de un sistema mixto con cuatro cultivos agrícolas de verano en la parte agrícola (girasol, maíz, soja y maní) a un sistema más especializado eliminando de su planteo sucesivamente las pasturas y los cultivos de maní y girasol, e incorporando en los últimos ciclos el doble cultivo con trigo. Por el contrario, el productor 2 no cambió tan sustancialmente su asignación de superficie y solo redujo levemente la asignación de tierra a pasturas y cambió su cultivo agrícola principal de girasol a soja.



**Gráfico III-2: Dedicación de superficie por cultivos periodo 1990-2007, productor 1 y 2.**

Fuente: Elaboración propia a partir de registros propios de cada productor.

Los cambios en la composición de rubros de producción fueron acompañados por aumentos significativos en los rendimientos de los cultivos agrícolas y, en menor medida, en la producción de carne. Así, por ejemplo, los rendimientos crecieron entre un 213 y un 234% para soja y maíz respectivamente en el productor 1. El productor 2, obtuvo aumentos relativos de la misma magnitud para los cultivos agrícolas aunque menores para la producción de carne, que alcanzó un crecimiento cercano al 30%. Un

resumen de los resultados físicos y económicos de los sistemas de producción reales en ambos periodos y para los dos productores se muestra en la Tabla III-4.

**Tabla III-4: Resultados físicos y económicos de las actividades**

Cultivo, tenencia	Superficie destinada (ha)	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) <sup>11</sup>	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> )
<b>Productor 1, periodo 1</b>				
Soja, propio	63	1.960	535	647
Soja, alquilado	32	1.680	6	1.016
Maíz, propio	115	4.770	771	652
<b>Maíz, alquilado</b>	<b>258</b>	<b>3.460</b>	<b>163</b>	<b>809</b>
Trigo-soja, alquilado	58	1520 - 730	15	1.133
Girasol, propio	80	2.060	442	732
Girasol, alquilado	35	1.870	152	914
Sorgo, alquilado	7	1.340	-392	673
Maní, propio	54	2.490	1.234	1.267
Maní, alquilado	142	1.740	96	1.674
Invernada, propio	212	370	337	395
<b>Productor 1, Período 2</b>				
Soja, propio	147	4.180	1.530	708
<b>Soja, alquilado</b>	<b>553</b>	<b>3.580</b>	<b>840</b>	<b>976</b>
Maíz, propio	272	11.200	1.106	1.258
Maíz, alquilado	290	7.960	448	367
Trigo-soja, Propio	210	3.790 - 3.060	1.544	1.243
<b>Productor 2, Período 1</b>				
Soja, Propio	79	780	87	440
Maíz, Propio	294	3.400	278	469
Trigo, Propio	194	1.900	351	310
Trigo-Soja, Propio	50	1.900 - 520	329	683
Girasol, Propio	664	1.780	696	376
Sorgo, Propio	149	2.830	329	307
Trigo-Maíz, Propio	98	1.900 - 1.810	456	602
Trigo-Sorgo, Propio	25	1.900 - 1.320	396	575
Festuca, Propio	57	228	303	222
<b>Invernada, Propio</b>	<b>1.552</b>	<b>365</b>	<b>520</b>	<b>232</b>
Invernada, Alquilado	101	365	310	442
<b>Productor 2, Período 2</b>				
Soja, Propio	565	3.100	1.202	521
Soja, Alquilado	334	2.690	685	984
Maíz, Propio	295	8.290	852	896
Trigo-Soja, Propio	157	2.850-2.560	1.526	977
Trigo-Soja, Alquilado	100	2.850-2.610	669	1.199
Girasol, Propio	360	2.410	1.081	568
Avena Semilla – Soja, Propio	100	2.220-2.560	1.330	1.023
Avena Semilla – Soja, Alquilado	100	1.300-2.610	291	1.487
<b>Invernada, Propio</b>	<b>1.648</b>	<b>478</b>	<b>720</b>	<b>398</b>

Los rubros destacados en negrita corresponden a la actividad principal de cada productor en cada periodo. MB: Margen Bruto, CT: Capital de Trabajo necesario para la actividad (gastos directos efectivos)  
Fuente: Elaboración propia a partir de registros de cada productor (CRG, 2007)

<sup>11</sup> : \$c: \$ constantes, actualizados a Julio de 2007 mediante el Índice de Precios Mayoristas nivel General AACREA. 2007b. Series de Precios 2.0. Área de Economía de AACREA.

Utilizando los usos de la tierra, rubros de producción, tenencia de la tierra y planteos tecnológicos que efectivamente eran tomados en cuenta por cada decisor en cada periodo, se definieron las alternativas de selección para el modelo (Tabla III-5). En concordancia con el proceso de especialización, se observa claramente que el productor 1 redujo a la mitad las alternativas sobre las que selecciona el uso de la tierra (de 50 a 25 combinaciones), mientras que el productor 2 mantuvo prácticamente la cantidad de alternativas entre los dos periodos (56 y 54 combinaciones respectivamente).

**Tabla III-5: Alternativas de uso de la tierra.**

	<b>Productor 1</b>	<b>Productor 2</b>
	<b>Periodo 1</b>	
Usos de la tierra	Agricultura - Ganadería	Agricultura - Ganadería
Rubros de producción	1. <b>Agricultura:</b> Soja, Maíz, Trigo, Soja 2°, Girasol, Sorgo, Maní  2. <b>Invernada bovina</b> <u>Pasturas:</u> Verdeo de Verano (sorgo), Verdeo invierno (avena), Alfalfa en implantación, en producción y degradada, <u>Conservados y suplementos:</u> Heno de alfalfa, Silo Maíz, Grano de Maíz	1. <b>Agricultura:</b> Soja, Maíz, Trigo, Girasol, Sorgo, Soja 2°, Maíz 2°, Sorgo 2°, Llorón semilla, Festuca semilla. 2. <b>Invernada bovina</b> <u>Pasturas:</u> Verdeo de Verano (sorgo), Verdeo invierno (avena), Alfalfa en implantación, en producción y degradada, <u>Conservados y suplementos:</u> Heno de alfalfa, Silo Maíz, Grano de Maíz
Tenencia de la tierra	Propia, alquilada	Propia, alquilada
Planteos tecnológicos	Promedio	Promedio
División de la cadena forrajera	Trimestral	Trimestral
Cantidad de alternativas	<b>50</b>	<b>56</b>
	<b>Periodo 2</b>	
Usos de la tierra	Agricultura	Agricultura – Ganadería
Rubros de producción	1. <b>Agricultura:</b> Soja, Maíz, Soja 2°, Maíz 2°, Trigo	1. <b>Agricultura:</b> Soja, Maíz, Soja 2°, Girasol, Maíz 2°, Avena semilla, Trigo. 2. <b>Invernada bovina</b> <u>Pasturas:</u> Verdeo de Verano (sorgo), Verdeo invierno (avena), Alfalfa en implantación, en producción y degradada, <u>Conservados y suplementos:</u> Heno de alfalfa, Silo Maíz, Grano de Maíz
Tenencia de la tierra	Propia, alquilada, ceder en alquiler <sup>1</sup>	Propia, alquilada
Planteos tecnológicos	Alto, promedio, bajo <sup>2</sup>	Promedio
División de la cadena forrajera		Trimestral
Cantidad de alternativas	<b>25</b>	<b>54</b>

<sup>1</sup>: Se asume en la modelación y en el cálculo de indicadores ambientales, que la opción de ceder en alquiler se asocia con cultivo de soja con planteo tecnológico bajo.

<sup>2</sup>: Corresponden a resultados obtenidos en el propio campo. Los resultados promedio pertenecen a lotes de producción, los resultados de planteos tecnológicos Alto fueron extraídos de ensayos con mayor fertilización, densidad de semillas, uso de fungicidas, etc. mientras que los planteos tecnológicos Bajo corresponden a testigos de los ensayos sin fertilización, fungicidas, etc.

Fuente: Elaboración propia

## **Configuración de la rotación de cultivos a partir de los resultados**

La rotación de cultivos en este trabajo surge directamente de la asignación de actividades que realiza el modelo en cada una de sus salidas. Por ejemplo, si en la optimización de un objetivo se asigna la tierra en cinco actividades anuales, se supone que las mismas serán secuenciadas en cada unidad de manejo o lote. O sea, una unidad de manejo tendrá una actividad diferente por año hasta el quinto año, iniciando el sexto año con la actividad realizada en el primero. Es importante destacar que la viabilidad técnica y cambios en los coeficientes de contribución por diferentes rotaciones de cultivo, no son analizados en este estudio.

### **III.3. Metodología general. Programación Matemática Multicriterio**

#### **Definiciones básicas**

Se presentan a continuación algunos términos y sus definiciones en el marco del análisis multicriterio, tomados de trabajos en los que se describen o utilizan metodologías dentro de este tipo de análisis (Ballesteros y Romero, 1998; Romero, 1996; Schniederjans, 1994; Van Leeuwen et al., 2001), teniendo en cuenta que algunos de ellos pueden ser utilizados indistintamente en el lenguaje cotidiano pero tienen un significado particular en el marco de esta metodología.

**Análisis de Decisión Multicriterio (ADM):** paradigma de toma de decisión que asume que los decisores toman en cuenta más de un criterio para seleccionar entre diferentes posibilidades disponibles.

**Modelo:** representación conceptual y/o matemática de la realidad, que permite simplificarla, tratando de mantener lo esencial del problema que se intenta resolver, estudiar o simular.

**Tomador de decisión Agrario (TDA):** corresponde a la persona que selecciona la combinación de alternativas de uso del suelo, rubros de producción y tecnología aplicada para un sistema de producción agropecuario.

**Atributo:** aspecto de la realidad que tiene valor para el TDA. Estos valores pueden ser medidos independientemente de los deseos de los decisores y expresados como funciones matemáticas de las variables de decisión. Algunos ejemplos de atributos son Margen Bruto, Erosión de Suelo, Riesgo Económico.

**Objetivo:** representa la dirección de mejora de los atributos, lo cual se corresponde con procesos de maximización (más es mejor) o minimización (menos es mejor). Algunos ejemplos serían maximizar el margen bruto o minimizar la erosión de suelo.

**Variables de decisión:** son aquellas variables que conforman y definen las soluciones factibles. Pueden constituir decisiones acerca de usos del suelo, rubros de producción y tecnología aplicada.

**Nivel de aspiración (target):** Nivel de alcance aceptable para los atributos. Indica valores con los que el tomador de decisión se encuentra satisfecho, por ejemplo Margen Bruto  $\geq 500$  \$/Ha o Erosión de Suelo  $\leq 5$  T/ha.

**Meta (goal):** es la combinación de un atributo con su nivel de aspiración.

**Restricción:** son inequaciones que relacionan los atributos con las variables de decisión e indican un valor determinado. El valor (máximo o mínimo) de las restricciones indica una obligación mínima a cumplir o una máxima disponibilidad de recurso y su respectivo aprovechamiento. Todas las restricciones se deben satisfacer para poder tener una solución posible. Son ejemplos las restricciones de tierra, de capital y técnicas (p.e. rotaciones de cultivo, balance de oferta y demanda de forraje).

**Criterio:** es un concepto general que comprende los demás conceptos. En definitiva, criterios son los atributos, objetivos y metas considerados relevantes para un determinado problema de toma de decisión.

**Óptimo o eficiente según Pareto (aplicado a ADM)<sup>12</sup>:** Una solución está en un estado óptimo si la mejora en un criterio de relevancia para el TDA implica necesariamente una desmejora en otro criterio relevante.

---

<sup>12</sup>. En su origen fue formulado como un concepto económico global para la sociedad como: “Una colectividad está en su estado óptimo si no existe una persona que pueda mejorar su situación sin empeorar la de otras de esa colectividad”

## Identificación de atributos y objetivos

La definición de los criterios se realizó mediante un proceso interactivo con cada tomador de decisión, en el que fueron identificados sus objetivos, atributos ambientales y económicos de interés, las restricciones y las alternativas de producción y tecnológicas de los sistemas. Este proceso requirió la realización de cuatro entrevistas con cada productor, dos con cada asesor técnico y la participación en diez reuniones técnicas del grupo de asesores de CREA - Región Centro. Asimismo, en la definición final de los criterios también se utilizó la bibliografía específica sobre modelación matemática multicriterio aplicada al problema de sustentabilidad (ver Capítulo II: Antecedentes.) y se evaluó la factibilidad de estimación o cálculo de los indicadores a partir de la información de base disponible.

La Tabla III-6 muestra los atributos finalmente identificados, clasificados según la dimensión de la sustentabilidad a la que hacen referencia. Los atributos ambientales fueron evaluados solo en la superficie propia porque el estudio busca realizar comparaciones sobre bases similares. La tierra propia entre ambos periodos no se ha modificado. En tanto, los productores toman tierras de terceros distintas entre periodos, inclusive con localizaciones bastante diferentes. Asimismo, se busca reflejar la propia percepción de los productores bajo estudio de mayor importancia del cuidado del recurso cuando la tenencia de la tierra es propia.

**Tabla III-6: Atributos seleccionados para cada dimensión de análisis de la sustentabilidad.**

Dimensión de la sustentabilidad	Atributo o indicador (unidad)	Unidad	Sigla
<b>Económica</b>	Margen Bruto Global	\$c.año <sup>-1</sup>	MBG
	Capital de Trabajo	\$c.año <sup>-1</sup>	CT
	Riesgo Económico	\$c <sup>2</sup> .año <sup>-2</sup>	RE
<b>Ambiental (considerado en superficie propia)</b>	Pérdida de suelo por erosión	Mg.año <sup>-1</sup>	PS
	Balance de materia orgánica del suelo	Mg.año <sup>-1</sup>	BMOS
	Dependencia energética	Mj.año <sup>-1</sup>	DE

Los precios corrientes de los productos e insumos se transformaron a pesos constantes a julio del 2007 (\$c) mediante el índice de precios mayorista nivel general (AACREA, 2007b).

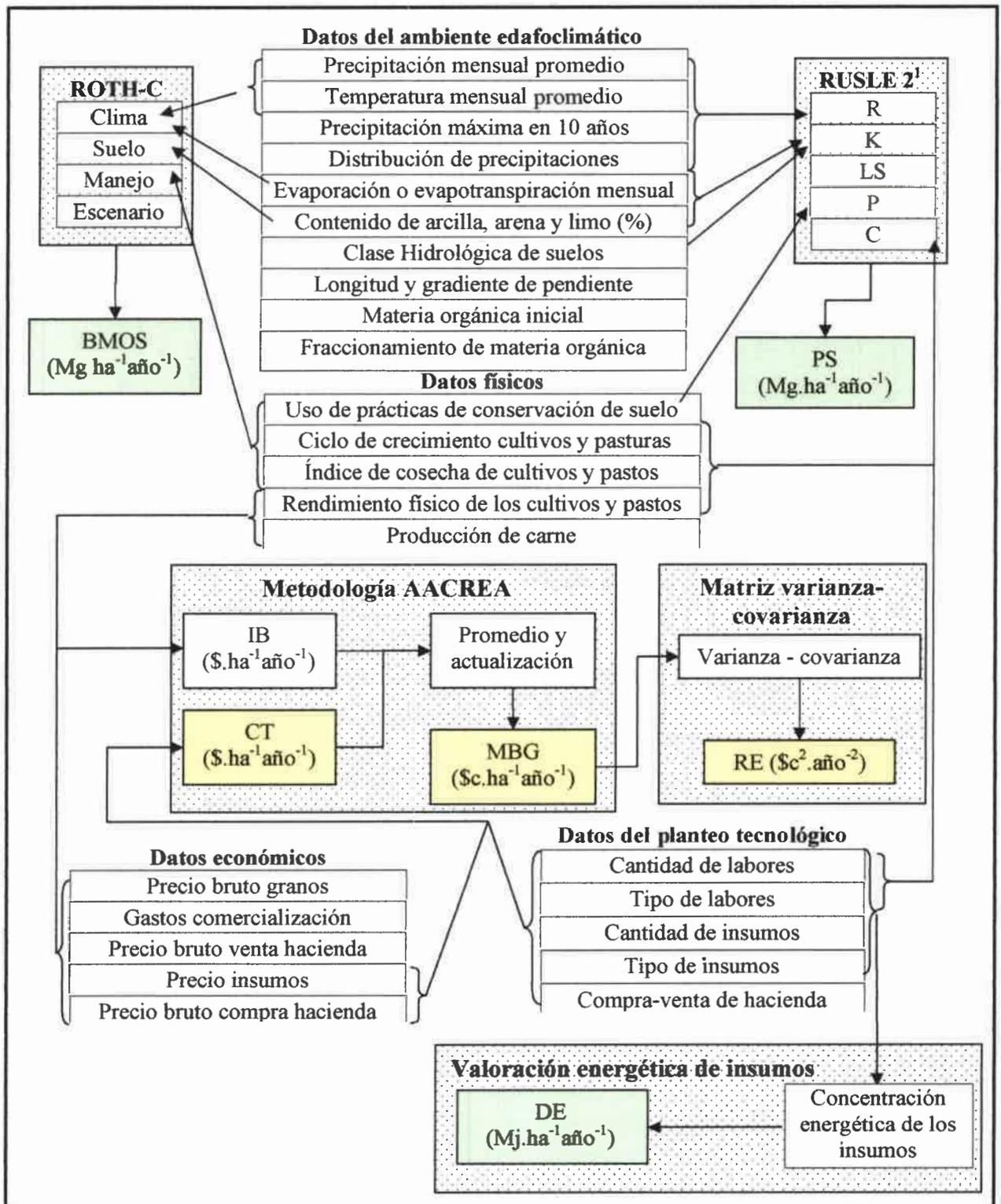
Fuente: Elaboración propia

## Base de datos y métodos de estimación de los atributos

Los datos de niveles de producción, uso de la tierra y planteo tecnológico fueron extraídos de los registros de producción y administración de la empresas en cuestión y de empresas del mismo grupo (CREA, 2007; CRG, 2007).

El cálculo de los atributos para los sistemas de producción bajo estudio requirió el uso de datos edafoclimáticos, físicos, tecnológicos y económicos. En el Esquema III-1 se detallan las bases de datos utilizadas para el cálculo de cada uno de los indicadores económicos y ambientales, así como los modelos o métodos que se utilizaron para realizar las estimaciones.

Los cuadros blancos indican los datos básicos utilizados para realizar los cálculos y simulaciones o bien resultados intermedios. Los cuadros punteados presentan las metodologías de integración de los datos, mientras que los cuadros de color identifican el atributo que se estima con la misma (verdes para atributos ambientales y amarillos para atributos económicos). Un detalle de las metodologías utilizadas para obtener los coeficientes de contribución y los resultados para cada rubro de producción y atributo se presenta en el Apéndice A.



**Esquema III-1: Representación de los datos utilizados e integración para el cálculo de los atributos económicos (cuadros amarillos) y ambientales (cuadros verdes).**

<sup>1</sup>: Ecuación universal de pérdida de suelo modificada, por sus siglas en inglés. R: factor de erosividad de la lluvia, K: factor de erodabilidad del suelo, LS: factor de longitud y gradiente de pendiente; C: factor de cobertura del suelo; P: factor de prácticas de conservación de suelo y agua. Fuente: Elaboración propia

## Modelo Matemático

Se utilizó un modelo matemático similar al propuesto por Schniederjans (1994) que incluye tantas funciones ( $f_1(x), \dots, f_q(x)$ ) como criterios se incluyan en el análisis. El modelo general se presenta a continuación:

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

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

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

donde la Ecuación III.1 representa el conjunto de funciones objetivo, que dependen de las variables de decisión ( $x_j$ ),  $c_{ij}$  son los coeficientes de contribución de cada variable a la función objetivo (es el aporte marginal a  $f_i(x)$  de cada unidad de su respectiva variable de decisión),  $f_i(x)$  es la expresión matemática del objetivo  $i$ ,  $q$  es la cantidad de objetivos, para nuestro caso seis: Maximizar MBG, Minimizar CT, Minimizar RE, Minimizar PS, Maximizar BMOS y minimizar DE.

La Ecuación III.2 representa las  $m-q$  restricciones. En las restricciones,  $a_{ij}$  son los coeficientes técnicos y  $b_i$  muestran las máximas disponibilidades o las condiciones balance o igualdad de las restricciones técnicas (por ejemplo, la demanda de raciones para la producción de animal debe ser menor o igual que la oferta de raciones de las pasturas).

La Ecuación III.3 representa la condición de no negatividad de las variables de decisión.

El uso de este modelo requiere implícitamente los siguientes supuestos, señalados en Schniederjans, (1994):

1. *Proporcionalidad*: Cada unidad de la variable de decisión  $x_j$  contribuye  $c_{ij}$  unidades a la función objetivo  $i$  y  $a_{ij}$  unidades a la restricción  $i$ .
2. *Aditividad*: La contribución a la función objetivo y a las restricciones son independientes de los valores de las variables de decisión, es decir no hay efectos de escala.
3. *Divisibilidad*: Las variables de decisión pueden tomar valores no enteros o fraccionales.
4. *Certeza*: Todos los parámetros deben ser conocidos con certeza. Posteriormente, este supuesto se evalúa con el análisis de sensibilidad del modelo.

*Funciones objetivo: determinación de los coeficientes de contribución*

Los coeficientes de contribución representan el aporte marginal de cada variable de decisión al objetivo *i*. Su determinación se realizó con el uso de diferentes métodos para cada uno de los atributos bajo análisis. La Tabla III-7 resume los atributos, su dirección de mejora (objetivo) y el método de estimación de los coeficientes de contribución.

**Tabla III-7: Atributos, objetivos y metodología de estimación.**

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

Fuente: Elaboración propia.

*Restricciones*

Las restricciones del modelo ponen límite al TDA por la disponibilidad de recursos (tierra, capital y mano de obra), la capacidad de manejo empresarial y relaciones técnicas. En relación a la tierra propia, se impone la restricción de la utilización de toda la superficie. Para el caso del capital, se modeló la disponibilidad de equipo de siembra de acuerdo al periodo óptimo de los cultivos en diferentes estaciones. Para el trabajo, se definió la cantidad de horas disponibles de operarios como restricción. Para el productor 2, se agregó una restricción de entrada mínima de terneros a invernar al sistema y una cantidad máxima de cultivos dedicados a semillas forrajeras según propias decisiones empresariales. En relación a las restricciones técnicas de los modelos, la superficie de cultivos oleaginosos en ambos productores no puede superar la mitad de la superficie propia total, las demandas trimestrales de los modelos ganaderos deben ser satisfechas y la relación entre pasturas de alfalfa en producción (PP) y pasturas en implantación debe ser 2:1, así como la relación entre PP y pasturas degradadas debe ser 2:1, asumiendo una duración total de la pastura de cuatro años. En

la Tabla III-8 se resumen, para los cuatro modelos, la disponibilidad de recursos, decisiones empresariales que implican limitaciones para el sistema de producción y restricciones técnicas.

**Tabla III-8: 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
<b>Disponibilidad de recursos</b>					
Tierra	Ha	539	539	3.161	3.161
Periodo óptimo Sembradora grano grueso cultivos de primera en primavera	Hs	240	175	240	240
Periodo óptimo Sembradora grano grueso cultivos de segunda en primavera	Hs	120	85	120	120
Periodo óptimo Sembradora grano fino otoño	Hs	240	200	240	240
Trabajo total	Hs	8.360	7.200	19.200	30.000
<b>Decisiones empresariales</b>					
Cantidad mínima de cabezas invernada	Animales/año	-	-	1.500	1.500
Cantidad máxima Cultivos para semillas forrajeras	Ha	-	-	100	100
<b>Restricciones técnicas</b>					
Balance de cadena forrajera		Trimestral	-	Trimestral	Trimestral
Restricción de rotación <sup>13</sup>	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.

Un detalle respecto a los coeficientes  $a_{ij}$  de cada variable de decisión se muestra en el Apéndice A.

### **III.4. Procedimiento general**

#### **Etapa 1. Recolección e integración de datos.**

En primer lugar, se relevaron y evaluaron los datos e información registrados por los productores CREA de la Región Centro conjuntamente con los técnicos del CREA con el fin de establecer la posibilidad de obtener valores representativos de cada uno de los atributos evaluados, con cada uno de los usos, manejos y secuencias de cultivo posibles.

<sup>13</sup>: La restricción de rotación se establece respecto al cultivo o grupo de cultivos con mejor MB

Luego, se seleccionaron los posibles objetivos de cada explotación agropecuaria bajo estudio, las variables de decisión y las restricciones que enfrenta el productor, identificando los relevantes desde el punto de vista económico y ambiental.

Para la obtención de los valores que toman los atributos ante diferentes usos y manejos, se realizaron visitas a campo para evaluar las condiciones de suelo, establecer la curva número (CN), pendientes promedio, grado de cobertura y otras variables para el cálculo de los parámetros ambientales referidos a la dinámica del agua y pérdida de suelo por erosión.

Por último, y con los datos de los registros relevados, sumado a los resultados de los modelos de simulación, se obtiene el valor que toma cada uno de los atributos para cada una de las alternativas de uso, manejo y secuencia de cultivos (coeficientes de contribución), así como los coeficientes técnicos necesarios para la modelación de las restricciones.

## **Etapa 2. Diseño del modelo de programación matemática**

En esta etapa se diseñó el modelo de programación matemática, que integra matemáticamente los atributos, objetivos y restricciones de los productores junto a los coeficientes de contribución y técnicos destacados en la etapa anterior. La información recabada y procesada en la etapa 1, resumida en las principales variable de decisión, valores de los atributos para cada una de ellas, restricciones de capital y técnicas de los sistemas productivos, constituyeron los insumos de esta etapa. Se trabajó con dos softwares en forma paralela para chequear los resultados, a) planilla Excel con complemento SOLVER y b) Software especializado de programación, What Best (versión compatible de planilla de cálculo de LINDO®) aplicado sobre la misma planilla Excel.

Un detalle de los resultados de las dos primeras etapas se presenta en el apéndice *A Coeficientes de contribución y restricciones de los modelos*

## **Etapa 3. Utilización del modelo.**

Para cada productor en cada periodo, se determinó el valor de las variables de decisión y de los atributos si el productor optimiza un solo objetivo, luego si optimiza el objetivo siguiente y así sucesivamente, obteniendo la denominada matriz de pago y

estableciendo los conflictos entre atributos y la evolución de los mismos en el tiempo a través de la comparación de las matrices de pago. Con el valor real de las variables de decisión de cada productor evaluado en cada periodo, se determinó el nivel de alcance de cada objetivo (grado de satisfacción respecto a su nivel óptimo), las posibilidades de expansión o mejora de cada atributo y los cambios en las variables de decisión que habría que realizar para lograrlo. Estos resultados son presentados en el *Capítulo IV: Análisis de la evolución del conflicto económico – ambiental mediante matrices de pago*.

Luego se utilizó el modelo de programación para estimar las fronteras de eficiencia entre objetivos y evaluar la evolución del conflicto entre pares de atributos para cada productor. Los resultados de esta aproximación son presentados en el *Capítulo V: Fronteras de eficiencia economía-ambiente para sistemas de producción agropecuarios en el centro-sur de Córdoba*.

El modelo también fue utilizado en Programación por Metas Ponderadas para explorar la relación entre la preferencia de los productores por los atributos bajo estudio y los resultados alcanzados en las diferentes dimensiones de la sustentabilidad exploradas en este estudio. Los resultados son presentados en el *Capítulo VI: Aplicación de un modelo de programación por metas ponderadas interactivo*.

En todos los casos, los resultados fueron contrastados con la opinión de los productores en reuniones con los mismos, a fin de ajustar detalles en la calibración del modelo (cambiar, quitar, agregar restricciones, cambiar las ponderaciones de cada objetivo, corroborar los coeficientes de contribución, determinar la coherencia de los resultados, etc.)

#### **Etapa 4. Interpretación de resultados.**

En la discusión de cada capítulo se identifican las medidas o políticas empresarias que mejoran la gestión de los recursos para mejorar la producción como así también mantener la calidad del ambiente. Para cada caso, se discuten decisiones sobre tipo de uso de las tierras, sistemas de cultivos, prácticas de manejo de suelo, prácticas para aumentar los niveles de carbono del suelo, efectos del monocultivo, etc, con énfasis en el efecto de una dada secuencia de cultivos sobre cada uno de estos indicadores relevantes.

Asimismo, se enfatiza en la evolución de la relación entre ambiente y economía a escala predial, remarcando los conflictos entre los atributos relevantes, así como su evolución ante diferentes cambios de uso de la tierra y tecnologías de producción.

### **Etapa 5. Análisis de sensibilidad**

La parametrización del modelo (coeficientes de contribución, restricciones, etc) puede modificarse por varias razones: cambios en los precios relativos de los productos, diferencias en los coeficientes de contribución en función de las rotaciones, supresión o modificación de restricciones técnicas, cambios en los rendimientos de los cultivos, cambios en los periodos tomados en cuenta en el análisis, entre otros. La sensibilidad del modelo fue evaluada determinando la variabilidad de los resultados e implicancias en el análisis de la sustentabilidad ante cambios en algunas de estos factores. Los resultados de la sensibilidad y el análisis de la estabilidad del modelo se muestran en el *Capítulo VII: Análisis de sensibilidad*.

## **IV. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL CONFLICTO ECONÓMICO – AMBIENTAL MEDIANTE MATRICES DE PAGO.**

### **IV.1. Introducción y antecedentes**

El análisis de matrices de pago, donde simultáneamente se observan los óptimos individuales de varios atributos y los resultados de los demás, permite cuantificar el conflicto entre objetivos para un momento dado y la comparación de dos matrices de pago para diferentes momentos es útil para analizar la evolución temporal de los conflictos.

Este análisis de evolución temporal de los conflictos interesa para los casos bajo estudio, ya que si bien ha sido demostrado que mediante las tecnologías de la agricultura moderna es posible aumentar la producción de alimentos, numerosas reservas y alertas existen acerca de la sustentabilidad ambiental en sistemas orientados a maximizar el beneficio económico, teniendo en cuenta la degradación de los recursos naturales (FAO, 2007; Matson et al., 1997; Tilman et al., 2002) y la alta dependencia de

recursos no renovables (Hall et al., 1986; Pimentel, 1975). Se destaca en la literatura la necesidad de una evaluación cuantitativa de la interacción entre objetivos económicos y ambientales en los sistemas de producción (Lu y van Ittersum, 2004) y la naturaleza del cambio en estas relaciones en el tiempo.

Los análisis de matrices de pago constituyen herramientas útiles dentro de la programación matemática para detectar los conflictos entre atributos en las fronteras de cada uno de ellos. Utilizando esta aproximación, Antoine et al., (1997), definieron los conflictos entre atributos económicos, sociales y ambientales para una región de Kenia y aproximaron una solución de compromiso mediante un análisis interactivo. Lu y van Ittersum (2004) encontraron, mediante este tipo de análisis, que prácticamente no existían conflictos entre la conservación de suelo y aumentos de la producción para alcanzar suficiencia alimentaria en la meseta loesica China.

En escala de sistemas de producción, y con el uso de información secundaria, de Prada et al., (2008) mostraron que la rentabilidad económica está en conflicto con otros objetivos económicos (minimizar el capital de trabajo o minimizar el riesgo) y con objetivos ambientales de minimizar la pérdida y erosión de suelo.

Todos los estudios mencionados trabajan en escala regional o en escala predial con información secundaria y no incorporan la dimensión temporal. Los objetivos del presente capítulo son: estimar los óptimos económicos y ambientales para dos sistemas de producción del centro-sur de Córdoba en dos periodos diferentes, identificar a escala predial los conflictos entre economía y ambiente en términos de frontera y definir la evolución de esta relación ante cambios en el uso de la tierra, sistemas de cultivo y tecnología de producción operados en los últimos diez años.

El resto del capítulo se estructura como sigue; la sección IV.2 describe la forma de obtener las matrices de pago dentro del modelo general de Programación Matemática Multicriterio definido en el capítulo III, en los apartados IV.3 y IV.4 se analizan los conflictos entre atributos económicos y ambientales y los usos de la tierra derivados cuando se tienen en cuenta los criterios de forma individual para los productores 1 y 2 respectivamente. La sección IV.5 muestra una evaluación comparativa de la evolución del conflicto para los dos productores entre los periodos 1994-97 y 2003-06, mientras que en IV.6 se presenta la ubicación de los productores en la realidad dentro de la

matriz, para enfatizar la distancia respecto a cada óptimo. En el apartado IV.7 se discuten los resultados y por último, en la sección IV.8 se sintetizan los hallazgos del capítulo y las principales implicancias de los mismos.

## **IV.2. Métodos**

### **Matriz de Pago**

Dentro del modelo matemático general descrito en el capítulo III, la matriz de pago (matriz IV.1) se construye mediante la optimización individual de los atributos.

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

**Matriz IV.1**

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 en cada optimización (Sumpsi et al., 1996). Por ejemplo, cuando el modelo optimiza el objetivo 1, su valor óptimo es representado por  $g_{11}^*$ ; el resto de elementos de la primera fila corresponden al valor que alcanzan cada uno de los otros atributos. Luego, se determina el óptimo para el objetivo 2 ( $g_{22}^*$ ) y así sucesivamente hasta completar la matriz. Esta metodología permite el análisis de conflicto entre atributos independiente de las dimensiones y unidades de las variables (Van Leeuwen et al., 2001).

### **Porcentaje de alcance y expresión gráfica de los objetivos.**

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 ( $PA_{ij}$ , Ecuación IV.1 y IV.2 para objetivos de maximizar y minimizar respectivamente) para posteriormente visualizar en forma conjunta los resultados con un gráfico tipo araña:

$$PA_{ij} = [(g_{ij} - g_{*i}) / (g_i^* - g_{*i})] \times 100 \quad \text{Ecuación IV.1}$$

$$PA_{ij} = [1 - (g_{ij} - g_i^*) / (g_{*i} - g_i^*)] \times 100 \quad \text{Ecuación IV.2}$$

Donde  $PA_{ij}$  representa el indicador porcentual de alcance del atributo  $j$  en la optimización del atributo  $i$ ,  $g_{ij}$  es el valor realmente alcanzado del atributo  $j$  con la optimización del atributo  $i$ ,  $g_i^*$  es el valor ideal del atributo  $j$  y  $g_{*i}$  corresponde al peor valor de ese atributo dentro de la matriz de pago<sup>14</sup>.

### **IV.3. Conflicto económico-ambiental y evolución para un sistema de producción agrícola – Productor 1**

El conflicto entre atributos de la dimensión ambiental y económica para el sistema que pasó de mixto a agricultura permanente en toda su superficie fue evaluado a través de la matriz de pago (Tabla IV-1 y Tabla IV-3). En la diagonal mayor de la matriz se observa el valor óptimo para cada atributo mientras que los elementos fuera de esta diagonal indican el valor que toman el resto de los atributos ante la optimización de cada objetivo identificado por fila.

#### **Conflicto entre atributos en el periodo mixto (periodo 1 - 1994-97)**

Para el periodo 1 se identifica un importante conflicto entre la obtención del máximo MBG y el resto de los atributos (primera fila, Tabla IV-1). Desde el punto de vista económico, el productor que aspira tener máxima rentabilidad (\$c 704.000; PA=100%) necesita utilizar el máximo capital de trabajo (\$ 1.471.000; PA=0%) y debe correr el mayor riesgo (422.422 millones \$c<sup>2</sup>; PA=0%)

La maximización de la rentabilidad también implica 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 son más

---

<sup>14</sup>: El peor valor que alcanza un atributo normalmente se denomina nadir o anti-ideal. En este caso el valor es el peor para el conjunto de soluciones que constituye la matriz de pago y no representa necesariamente el peor valor posible del atributo.

importantes dentro de la propia dimensión económica que entre la renta y los atributos ambientales.

En relación al BMOS, solo 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<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (entre 639 y 784 Mg.año<sup>-1</sup> 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 atributos 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 DE respectivamente. Este hallazgo es relevante ya que las variables de decisión que generan resultados positivos en la dimensión ambiental son similares para diferentes atributos en este periodo.

**Tabla IV-1: Matriz de pago, periodo 1, 1994-97. Productor 1.**

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

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

En síntesis, para este periodo, el productor 1 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.

## **Uso de la tierra y rotaciones, periodo 1**

Los rubros de producción que selecciona el modelo cambian en función del objetivo que se optimiza (Tabla IV-2). 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. Representando temporalmente el resultado, se genera una rotación corta Maní-Maíz para el campo propio como óptima desde el punto de vista del retorno económico.

Por el contrario, la optimización individual de tres atributos 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. En estos tres casos, la ganadería aparece como la opción más favorable respecto a los cultivos agrícolas. 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.

**Tabla IV-2: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 1, 1994-97. Productor 1**

Tenencia de la tierra	Superficie Propia (ha)						Superficie alquilada (ha)				
	Rubro productivo	Maíz	Maní	Sorgo	Otros	Pastura anual	Pastura perenne	Superficie Agrícola/Ganadera	Maíz	Trigo	Alfalfa
<b>Objetivo</b>											
Maximizar MBG	270	270	0	0	0	0	1:0	789	465	0	
Minimizar CT	23	0	0	0	516	0	1:22	0	0	0	
Minimizar RE	9	4	84	64 <sup>1</sup>	378	0	1:2,4	0	0	0	
Minimizar PS	13	0	0	0	0	526	1:40	938	0	0	
Maximizar BMOS	239	0	0	0	0	300	1:1,2	711	0	131	
Minimizar DE	0	0	0	0	315	224	0:1	950	0	138	

<sup>1</sup>: 21 ha de girasol, 28 ha de trigo, 2 ha de trigo-soja, 13 ha soja. Fuente: elaboración propia

Para la optimización de los atributos que generan mayor conflicto entre sí, el modelo selecciona usos de la tierra variables. Así, la rotación corta de maní-maíz maximiza MBG pero entra en conflicto con los demás atributos, cuya optimización genera soluciones con proporción de pasturas intermedias (Minimizar RE o maximizar BMOS) o casi exclusiva (Minimizar CT, minimizar PS y minimizar DE).

### Conflicto entre atributos en el periodo agrícola (Periodo 2, 2004-06)

Para el periodo 2, el conflicto entre atributos económicos y ambientales decreció de manera importante respecto al periodo 1 (Tabla IV-3). Por un lado, se puede alcanzar el máximo MBG (1.641 miles de \$c por año) y a la vez obtener el 38% de la mínima PS y 46% del máximo BMOS. Además, es posible minimizar la PS o DE o maximizar BMOS alcanzado entre 88-92% del máximo MBG. Esto ocurre aun cuando las alternativas de uso de la tierra relacionadas a la ganadería no se incluyan en el modelo para este periodo. Es decir que las propias actividades agrícolas mejoraron sus atributos en relación a la PS y BMOS.

Asimismo, la máxima PS ( $698 \text{ Mg.año}^{-1}$ ) 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, 2004b) 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 solo 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 el atributo a optimizar, 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 (fila 2 de la matriz), 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 los costos implica minimizar los insumos y entonces 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.

Tabla IV-3: Matriz de pago periodo 2, 2004-06. Productor 1

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

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

En síntesis, la relación de conflicto entre atributos cambia respecto al periodo 1. Para el periodo 2, se pueden alcanzar los mejores resultados ambientales en campo propio y a la vez tener retornos económicos del orden del 90% del máximo. 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 (minimización de PS y maximización de BMOS).

## 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 (Tabla IV-4).

**Tabla IV-4: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 2, 2004-06. Productor 1.**

Rubro productivo	Soja de primera (ha)		Maíz de primera (ha)		Trigo-soja (ha)		Trigo-maíz (ha)		Cedida en alquiler (ha)
	P	A	P	A	P	A	P	A	
Tenencia de la tierra									
<b>Objetivo</b>									
Maximizar MBG	0	649	270	278	270	85	0	0	0
Minimizar CT	0	0	270	0	0	0	0	0	269
Minimizar RE	0	0	254	0	0	0	16	0	269
Minimizar PS	0	649	487	0	0	325	52	0	0
Maximizar BMOS	0	649	487	0	0	325	52	0	0
Minimizar DE	0	649	539	8	0	325	0	0	0

P: propia, A: alquilada. Fuente: elaboración propia

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 hectáreas, de las cuales 734 se realizan con el cultivo de soja (649 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 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 cede la mitad de la tierra para la producción de soja y también sacrifica su 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 terceros a soja de primera y trigo-soja de segunda por ignorar los impactos ambientales fuera del establecimiento.

Cabe resaltar que para las condiciones de este periodo, el modelo nunca elige la alternativa de soja de primera para el campo propio, teniendo en cuenta que es superada en su rendimiento económico y ambiental por el doble cultivo trigo-soja, por lo que su inclusión generaría soluciones no eficientes o dominadas (se podría mejorar un atributo sin empeorar el resto).

El modelo asume que el aporte de cada actividad en relación a los objetivos económicos y ambientales se mantendría en el tiempo independientemente del uso de la tierra seleccionado, con lo cual mientras que cuando se busca maximizar la renta, se selecciona una rotación Trigo-Soja - Maíz, rotaciones con mayor proporción de gramíneas en campo propio son elegidas cuando los criterios a optimizar son ambientales.

### **Planteos tecnológicos**

La Tabla IV-5 muestra que los planteos tecnológicos seleccionados por el modelo también son variables en relación al objetivo que se pretenda alcanzar. Cuando el objetivo es maximización del MBG o minimización del RE, el modelo selecciona una proporción equilibrada de planteos de alto rendimiento y planteos de rendimiento promedio lo cual indicaría que los planteos experimentales de mayor carga de insumos que el promedio son económicamente superadores para ciertas condiciones y cultivos; cuando los objetivos son minimizar la PS o maximizar el BMOS se seleccionan los planteos de mayor carga de insumos, teniendo en cuenta que los modelos utilizados para

determinar los coeficientes de contribución capturan el efecto positivo de una mayor producción de biomasa y residuos de cultivo que deriva de la mayor carga de insumos. Por último, los planteos de bajo rendimiento aparecen asociados a la minimización de CT y de DE, los cuales se obtienen a través de una reducción en el uso de insumos externos.

**Tabla IV-5: Planteos tecnológicos seleccionados por el modelo para la matriz de pago, periodo 2, 2004-06. Productor 1.**

	Superficie con Altos Rendimientos (ha)	Superficie con Rendimientos Promedio (ha)	Superficie con Bajos Rendimientos (ha)	Cede en alquiler (ha)
<b>Maximizar MBG</b>	734	817	0	0
<b>Minimizar CT</b>	0	0	270	269
<b>Minimizar RE</b>	126	143	0	269
<b>Minimizar PS</b>	1.513	0	0	0
<b>Maximizar BMOS</b>	1.513	0	0	0
<b>Minimizar DE</b>	0	0	539	0

Fuente: elaboración propia

### **Evolución de las fronteras para cada atributo**

Los cambios relativos en los atributos de las matrices de pago pueden ser observados mediante el cociente de la matriz del periodo 2 y la matriz del periodo 1 (Tabla IV-6). Valores mayores a 1 indican un aumento del atributo y valores menores a 1 una reducción<sup>15</sup>. Así, por ejemplo, la maximización del MBG en el periodo 2 permite alcanzar 2,33 veces el MBG máximo del periodo 1, con un aumento del CT del 31%, una reducción del 46% del RE, un recorte del 94% de la PS, un incremento de 2,59 veces en el BMOS y de 2,46 veces en la DE, siempre respecto a la misma optimización en el primer periodo.

En términos generales, se observa un comportamiento diferente entre el periodo 1 y 2 dependiendo del atributo evaluado. Las fronteras en el periodo 2 evolucionaron hacia mejores valores para el MBG y BMOS superando sustancialmente al periodo 1. Por ejemplo, se puede alcanzar un MBG entre 2,33 y 33,87 veces mayor en el periodo 2 cuando se optimiza MBG o minimiza RE respectivamente. En tanto, el BMOS mejoró entre 1,66 o 31,46 veces con respecto al periodo 1 cuando se minimiza el CT o la PS respectivamente. Estos dos atributos evolucionaron favorablemente entre el periodo 1 y

<sup>15</sup> : El aumento de un atributo implica una mejora si el objetivo es maximizar y una desmejora si el objetivo es minimizar y viceversa.

2 para todas las optimizaciones exploradas. En contraste, en el periodo 2 aumentaron CT y DE en todas las soluciones. El CT requerido en el periodo 2 es mayor entre el 24 y 83% respecto al periodo 1. En tanto, la DE desmejoró en forma más drástica entre el periodo 1 y 2, aumentando entre 2,46 u 8,65 veces para maximización del MBG o para minimización de la PS respectivamente.

La PS curiosamente mejoró prácticamente en todas las circunstancias de optimización en el periodo 2, con la sola excepción de la minimización de PS, en la que se logra una PS 49% mayor que el valor alcanzado en el periodo 1. Los valores óptimos del periodo 1 incluían pasturas y este rubro, el mejor desde el punto de vista del control de la erosión de suelo, no es tenido en cuenta como alternativa en el periodo 2. Sin embargo los valores en ambos periodos, en términos absolutos cuando se minimiza PS, están por debajo de los límites de tolerancia establecidos para este tipo de suelo.

El RE presenta una situación ambivalente. De hecho, el RE mejora (46%) en el periodo 2 con respecto al periodo 1 cuando se optimiza el MBG, lo cual es de alta relevancia ya que se puede obtener, simultáneamente, un máximo MBG 2,33 superior al periodo 1 y reducir la variabilidad de ese resultado. Sin embargo, presenta una desmejora importante relativa al periodo 1 cuando se minimiza RE o CT y algo menor cuando se maximiza el BMOS. Si el productor en el periodo 2 minimiza el CT o RE asume un RE superior a 8 o 11,63 veces con respecto al periodo 1. Estas magnitudes dan una dimensión cuantitativa del mayor RE mínimo de la especialización en agricultura en términos de frontera, teniendo en cuenta la alta reducción de alternativas sobre las que el productor elige a la hora de armar su modelo de producción y dan una idea de la poca consideración que han tenido atributos como RE en los cambios que ocurrieron en estos sistemas.

En relación a los atributos ambientales, las fronteras mejoran en PS y BMOS ante las alternativas actuales; sin embargo los planteos óptimos posibles actualmente son sustancialmente más dependientes de energía externa en todos los casos.

**Tabla IV-6: Cambio en los atributos del periodo 2 relativo al periodo 1, productor 1.**

Objetivo	MBG	CT	RE	PS	BMOS	DE
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>	<b>1,24</b>	8,07	<u>0,16</u>	<u>1,66</u>	3,40
Minimizar RE	<u>33,87</u>	1,35	<b>11,63</b>	<u>0,17</u>	<u>1,88</u>	4,42
Minimizar PS	<u>4,38</u>	1,71	1,00	<b>1,49</b>	<u>31,46</u>	8,65
Maximizar BMOS	<u>7,02</u>	1,83	1,65	<u>0,61</u>	<b>6,54</b>	6,72
Minimizar DE	<u>6,92</u>	1,47	1,02	<u>0,18</u>	<u>4,60</u>	<b>4,28</b>

Nota: El cálculo del cambio relativo entre periodos es el cociente entre el valor del atributo en el periodo 2 y el valor del atributo en el periodo 1, para la misma optimización. Subrayados se muestran los atributos que mejoraron en el periodo 2 con respecto al periodo 1 (si aumentó y su objetivo es maximizar o si se redujo y su objetivo era minimizar). Los valores en negrita sobre la diagonal mayor identifican esta relación para el óptimo para cada atributo.

Fuente: elaboración propia

En términos absolutos (Tabla IV-1 y Tabla IV-3), los atributos ambientales PS y BMOS mejoran de forma ostensible entre periodos ante la maximización de MBG. Esto implica que junto al aumento de 704 a 1.641 miles de \$c de MBG, la PS puede reducirse de 8.894 a 574 Mg, lo que implica pasar de 16,5 a 1,06 Mg.ha<sup>-1</sup>, muy por encima y muy por debajo respectivamente de los niveles de tolerancia establecidos para este tipo de suelos en la literatura, entre 5 y 10 Mg.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Casas, 2001; Foster, 2004b) y del promedio de PS, 4,62 Mg.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, estimado localmente para la cuenca de arroyo menores del sur de Córdoba en el año 1999 (Cisneros et al., 2004; de Prada et al., 2005). El conflicto que existía entre estos indicadores en el periodo 1 se morigeró para la nueva combinación de alternativas de uso de la tierra. En relación al BMOS, la maximización de MBG para el periodo 2 respecto al 1 implica pasar de una situación de balance negativo (-639 Mg.año<sup>-1</sup>) ante la maximización de MBG a una situación en la que el BMOS es positivo (1.016 Mg.año<sup>-1</sup>). Además, todas las optimizaciones individuales generan que este atributo resulte positivo. En síntesis, Los atributos PS y BMOS mejoran sustancialmente en el periodo 2.

En contraste, la DE aumenta significativamente entre los periodos cuando se maximiza el MBG. En la maximización de MBG en el periodo 2, el sistema demanda 2,46 veces más de la energía con respecto al periodo 1. De hecho, el aumento de MBG y DE fue casi proporcional, indicando una estrecha relación entre estos atributos: los mejores resultados económicos están asociados a mayores utilidades de insumos.

#### **IV.4. Conflicto económico-ambiental y evolución para un sistema de producción mixto – Productor 2**

##### **Conflicto entre atributos en el periodo 1 (1994-97)**

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 (primera fila, Tabla IV-7). En relación a los atributos ambientales, el mejor resultado económico coincide con PS superiores a  $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  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 productor 1.

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, aun 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 la máxima dependencia de energía externa. Este resultado es contrario al encontrado para el productor 1 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 puede minimizar el CT obteniendo además más de un 98% de alcance de la minimización de dependencia de energía externa.

Tabla IV-7: Matriz de pago, periodo 1, 1994-97. Productor 2.

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

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

Para el periodo 1, el productor 2 encuentra un alto conflicto entre maximizar la renta y el resto de los objetivos, a excepción de la DE. Los objetivos de minimizar CT y RE se encuentran ligados y en fuerte conflicto con la minimización de PS y BMOS. Contrariamente a lo expresado para el productor 1 para el mismo periodo, este productor demanda la máxima dependencia de energía externa para mantener sistemas de producción con mínima PS y/o máximo BMOS en el periodo 1.

### Uso de la tierra y rotaciones, periodo 1

Los rubros de producción y la relación entre cultivos agrícolas y superficie destinada a ganadería que selecciona el modelo, cambian en función del objetivo que quiere optimizarse (Tabla IV-8). 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 1.820 hectáreas para agricultura con el rubro girasol y 428 hectáreas para 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.

La actividad ganadera aparece favorable para minimizar DE, CT y RE, siendo seleccionadas por el modelo relaciones de superficie de pasturas:cultivo agrícolas de 53:1, 12:1 y 4:1 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 variables de decisión distintas).

**Tabla IV-8: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 1, 1994-97. Productor 2**

Rubro productivo	Tenencia de la tierra					Otros (ha)		Pastura anual (ha) <sup>*1</sup>		Pastura perenne (ha) <sup>*1</sup>		Relación superficie ganadera/agrícola	
	Maiz (ha)	Sorgo (ha)	Trigo - Maiz (ha)	Girasol (ha)	A	P	A	P	A	P	A	P	A
<b>Tenencia de la tierra</b>	P	P	P	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
<b>Objetivo</b>													
Max MBG	0	0	0	1.581	1.820	0	0	836	202	745	226	1:1	1:4
Min CT	0	239	0	0	0	0	0	1.628	0	1.294	0	12:1	-
Min RE	29	399	0	68	0	93 <sup>*2</sup>	0	2.418	0	154	0	4:1	-
Min PS	64	0	1.515	0	0	0	0	0	0	1.582	0	1:1	-
Max BMOS	0	0	1.521	0	0	0	0	83	0	1.557	0	1:1	-
Min DE	0	58	0	0	0	0	0	1.513	0	1.590	0	53:1	-

P: propia, A: alquilada.

\*1: Incluye reservas (heno de alfalfa y silaje de maíz) y suplementación (grano de maíz)

\*2: 86 ha soja, 7 ha trigo.

Fuente: elaboración propia

En síntesis, la optimización individual de tres objetivos, maximizar MBG, minimizar PS y maximizar BMOS determina la selección de alternativas con mitad de superficie dedicada a agricultura y el resto a pasturas, mientras que los objetivos restantes, minimizar RE, minimizar CT y minimizar DE generan soluciones donde la participación de las pasturas son mucho más altas (entre el 81 y el 98%).

### Conflicto entre atributos en el periodo 2 (2003-05)

Para el periodo 2, el conflicto entre la maximización de MBG y el resto de los atributos se reduce (Tabla IV-9, fila 1), 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 encuentran ligados, ya que al optimizar uno de ellos, se alcanza más del 70% de cumplimiento del otro. El conflicto entre estos indicadores ambientales y DE es menos

marcado que para el productor 1, ya que se puede obtener la mínima dependencia de energía y a la vez casi PA = 100 y 65% para PS y BMOS respectivamente.

**Tabla IV-9: Matriz de pago, periodo 2, 2003-05. Productor 2.**

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

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

Resumiendo, el productor 2 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 este segundo periodo 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 viceversa) y PS-BMOS (las alternativas que reducen la pérdida de suelo mejoran a su vez el balance de materia orgánica del suelo, y viceversa); sin embargo estos pares de atributos siguen direcciones opuestas ante cambios en el modelo de producción (las alternativas que mejoran CT y RE empeoran PS y BMOS, y viceversa).

## Uso de la tierra y rotaciones, periodo 2

Nuevamente, la selección de rubros de producción y la relación entre cultivos agrícolas y superficie destinada a ganadería que selecciona el modelo cambia de acuerdo al objetivo que quiere optimizarse (Tabla IV-10). Cuando se busca maximizar el MBG, el modelo sugiere maximizar la superficie destinada a cultivos agrícolas (9,3 hectáreas de cultivos agrícolas por cada hectárea dedicada a pasturas) con trigo-soja y girasol con máxima dedicación posible y soja de primera para el resto de la superficie agrícola. El 10% de la superficie restante se utiliza con pasturas anuales y perennes para

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. Este hallazgo es de gran importancia, ya que ante la ausencia de restricciones ambientales y de rotación en campo alquilado, la rotación y los resultados ambientales bajo esta tenencia de la tierra se vuelven desfavorables. Esto implica que aun cuando el impacto ambiental sobre campo alquilado no se considere en este estudio para reflejar la realidad de la decisión de los productores, el impacto ocurre y no tenerlo en cuenta lleva a decisiones de monocultivo, de alto impacto ambiental.

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 hectáreas de pasturas por cada hectárea dedicada a agricultura cuando se intenta minimizar RE o DE. La diferencia entre ambas optimizaciones se presenta en la estrategia de diversificación que adopta el modelo en el caso de minimizar el RE (selecciona una combinación de seis rubros de producción, mientras que cuando se minimiza CT, solo se elige 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. Para optimizar estos objetivos, selecciona entre 1,6 y 2,5 hectáreas de pasturas por cada hectárea de agricultura.

**Tabla IV-10: Valores de rubros productivos y tenencia de la tierra para cada optimización, periodo 2, 2003-05. Productor 2**

Rubro productivo	Maíz (ha)	Maíz 2 <sup>a</sup> (ha)	Trigo (ha)	Girasol (ha)	Soja 2 <sup>a</sup> (ha)	Soja (ha)	Pastura perenne (ha) <sup>*1</sup>	Pastura anual (ha) <sup>*1</sup>	Relación superficie agrícola/ganadera				
Tenencia de la tierra	P	P	P	P	P	P	A	P	A	P	A		
<b>Objetivo</b>													
Max MBG	0	0	1.752	704	1.752	228	2.241	273	273	203	127	9,3:1	5,6:1
Min CT	0	0	0	0	0	0	0	752	0	2.409	0	0:1	-
Min RE	39	0	171	119	72	200	0	613	0	1.979	0	1:4,3	-
Min PS	0	747	747	0	0	0	0	2.414	0	0	0	1:1,6	-
Max BMOS	0	1.752	1.752	0	0	0	0	950	723	459	0	2,5:1	0:1
Min DE	634	0	0	0	0	0	0	2.527	0	0	0	1:4	-

P: propia, A: alquilada.

\*1: Incluye reservas (heno de alfalfa y silaje de maíz) y suplementación (grano de maíz).

Fuente: elaboración propia

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 solo un mínimo de ganadería para cumplir con las restricciones, mientras que la contracara la representa la minimización de CT, donde la superficie se dedica exclusivamente a ganadería. La consecución del resto de los objetivos se materializa con diferentes proporciones y tipos de cultivos agrícolas, desde 1 hectárea agrícola por cada 4 hectáreas de pasturas cuando los objetivos son minimizar RE y minimizar DE, hasta planteos de agricultura con predominancia de gramíneas entre 38-70% de la superficie cuando los objetivos son minimizar PS o maximizar BMOS.

### **Evolución de los óptimos para cada atributo**

Los valores óptimos de los atributos y las relaciones de conflicto entre ellos cambian en el tiempo (Tabla IV-11). Si bien la mayor parte de los cambios tiene el mismo sentido que para el caso del productor 1, su intensidad es variable. La maximización del MBG permite alcanzar un 2,51 veces el MBG del periodo 1, con un aumento del 146% del CT y del 30% del RE, una importante mejora en PS y BMOS (reducción del 80% y aumento del 92% respectivamente). Sin embargo, el sistema se vuelve 5,14 veces más dependiente de energía externa en el óptimo de MBG.

Las fronteras en el periodo 2 mejoraron en MBG entre un 26 y un 151%, a excepción del escenario de minimización de CT, donde cae un 33%. Bajo todas las optimizaciones individuales de criterios, el CT aumenta entre un 20-192% indicando la mayor necesidad de disponer de capital para llevar adelante un ciclo de producción independientemente del objetivo perseguido. Los resultados son positivos para los atributos ambientales PS y BMOS, los que mejoran para casi la totalidad de las situaciones (entre un 33-80% para PS y entre casi neutro a 455% para BMOS).

Por el contrario la dependencia energética crece en la mayor parte de los escenarios, sobre todo cuando el objetivo es maximizar la renta económica, lo cual demuestra que aún en el caso de este productor, donde las alternativas de rubros de producción se mantienen más variadas, los sistemas se volvieron más intensivos y dependientes del uso de insumos externos.

En relación al riesgo del sistema, nuevamente muestra diferencias de acuerdo al indicador que sea optimizado. Puede mejorar en un 70% si se minimiza PS o empeorar hasta un 76% si se minimiza la dependencia de energía externa. Sin embargo, este productor presenta cambios cuantitativamente menos drásticos en este atributo respecto al productor 1, teniendo en cuenta que la especialización de su sistema de producción fue menor.

**Tabla IV-11: Cambio en los atributos del periodo 2 relativo al periodo 1, productor 2.**

Objetivo	MBG	CT	RE	PS	BMOS	DE
Maximizar MBG	<u>2,51</u>	2,46	1,30	<u>0,20</u>	<u>1,92</u>	5,14
Minimizar CT	0,67	<b>2,13</b>	<u>0,87</u>	<u>0,58</u>	0,97	3,08
Minimizar RE	<u>1,63</u>	1,86	<b>1,49</b>	<u>0,39</u>	<u>1,45</u>	2,11
Minimizar PS	<u>1,50</u>	1,20	<u>0,30</u>	<b>0,41</b>	<u>1,92</u>	<u>0,93</u>
Maximizar BMOS	<u>2,06</u>	2,03	1,35	<u>0,67</u>	<b>5,55</b>	1,62
Minimizar DE	<u>1,26</u>	2,92	1,76	<u>0,09</u>	<u>1,22</u>	<b>2,02</b>

Nota: El cálculo del cambio relativo entre periodos es el cociente entre el valor del atributo en el periodo 2 y el valor del atributo en el periodo 1, para la misma optimización. Subrayados se muestran los atributos que mejoraron en el periodo 2 con respecto al periodo 1 (si aumentó y su objetivo es maximizar o si se redujo y su objetivo era minimizar). Los valores en negrita sobre la diagonal mayor identifican esta relación para el óptimo para cada atributo.

Fuente: elaboración propia

En términos absolutos (Tabla IV-7 y Tabla IV-9), merecen destacarse algunos aspectos en la evolución de los atributos en las fronteras. La reducción en la PS implica que este atributo se sitúe en 4 Mg.ha<sup>-1</sup> o menos para todas las situaciones en el periodo 2 en relación a valores del orden de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> cuando se maximizaba MBG en el periodo 1. En relación al BMOS, mientras en el caso del periodo 1, no existían alternativas con BMOS positivo, todas las optimizaciones de atributos ambientales generan en el periodo 2, BMOS mayores a cero. Esto indica que, aún con cambios menos importantes, este productor también ha mejorado de forma significativa sus posibilidades de conservar el recurso suelo, estimadas a partir de estos dos indicadores.

En contraste, los aumentos de dependencia energética revelan que las mejoras alcanzadas en la rentabilidad del sistema y conservación del suelo, al igual que para el productor 1, fueron en gran medida dependientes de un aumento en la intensidad de uso de energía externa a los sistemas.

## **IV.5. Análisis comparativo de la evolución del conflicto**

Como ya fue analizado, la optimización individual de atributos deriva en un grado variable de alcance de los distintos objetivos para cada productor. Además, las relaciones entre el grado de alcance de los objetivos en cada fila de la matriz de pago cambian entre periodos ante cambios en los sistemas de uso de la tierra y resultados físicos, económicos y ambientales de las actividades.

El Gráfico IV-1 muestra el alcance de cada objetivo en particular en una escala de 0-100 para los dos periodos de análisis. Los puntos más alejados del centro (100) representan mayor alcance del objetivo<sup>16</sup>. Mientras mayor sea la distancia entre los puntos dentro de un eje, mayor es la diferencia entre periodos que se generó en ese atributo.

Al maximizar MBG (Gráfico IV-1.a), el productor 1 mejora MBG, RE, BMOS y PS y empeora en los indicadores de CT y DE, mientras que el productor 2 mejora MBG, BMOS y PS y empeora CT, RE y DE. Para esta frontera el avance es más marcado en el productor 1 (sobre todo para el caso de los indicadores BMOS y PS) y los retrocesos son menores respecto a la frontera del productor 2.

Cuando el objetivo es minimizar la PS<sup>17</sup>, las diferencias entre productores son más claras (Gráfico IV-1.b). Para ambos, se pueden alcanzar valores de mínimas pérdidas de suelo en los dos periodos, sin embargo, el productor 1 puede alcanzar cerca de su máximo MBG y BMOS minimizando la PS en el periodo 2, mientras que el productor 2 solo alcanza modestas mejoras en estos indicadores en el periodo 2 en comparación al periodo 1. No obstante, los cambios también son más dramáticos para el productor 1 en los indicadores que desmejoran: su aumento en los costos y en dependencia de energía son máximos minimizando PS. Esto implica que la pérdida de

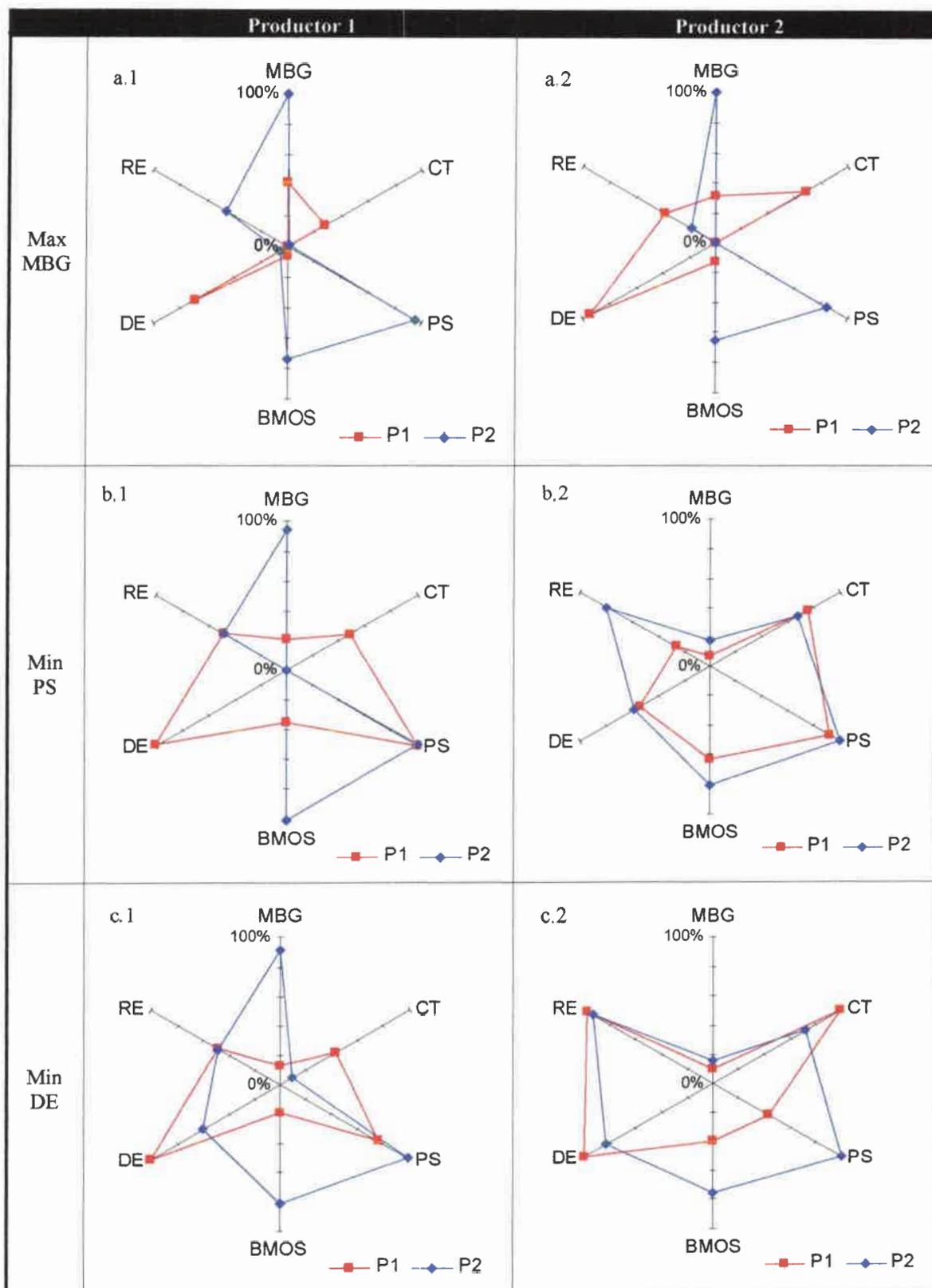
---

<sup>16</sup>: La referencia es 0 y 100 para el peor y mejor valor que cada atributo tomó para cada campo en los dos periodos de análisis. Es decir que la referencia es particular de cada campo y las comparaciones, por lo tanto, relativas al grado de alcance respecto a esas referencias particulares. La referencia 100 indica máximo en los atributos cuyo objetivo es maximizar y mínimo en aquellos en los que se quiere minimizar.

<sup>17</sup>: Como fue analizado previamente, el objetivo de minimizar PS y maximizar BMOS se mueven en conjunto, por lo que el resultado mostrado en el gráfico 1.b puede interpretarse como una solución *proxy* para máximo BMOS. La misma interpretación puede realizarse entre los atributos CT-DE-RE.

suelo se reduce solo como producto de mayor producción de materia seca y cobertura a través de la utilización de mayores insumos energéticos. Mientras tanto, el productor 2 mejora más levemente la totalidad de los atributos, a excepción de CT.

En relación a los cambios en la frontera de la dependencia de energía (Gráfico IV-1.c), ambos productores presentan óptimos que desmejoran respecto al periodo 1, es decir, contemplan solo alternativas más costosas desde el punto de vista de la energía externa aportada al sistema y las alternativas de mínimo costo del periodo 1 no son tenidas en cuenta en la actualidad. En este sentido, las desmejoras son más fuertes para el productor 1, donde la cantidad de alternativas sobre las que elige el modelo es más restringida para el segundo periodo. Asimismo, nuevamente la mejora en MBG y BMOS es mayor para el productor tipo 1, aun minimizando DE, mientras que el productor 2 reduce de forma más importante su PS.



**Gráfico IV-1: Grado de alcance de los objetivos ante las optimizaciones de MBG (a), PS (b) y DE (c) para los productores 1 y 2 en los dos periodos de análisis.**

Fuente: elaboración propia

## IV.6. Utilización de la tierra y resultados reales de los productores

Los productores bajo estudio utilizaron y utilizan la tierra en forma variable (Tabla IV-12), obteniendo distinto grado de alcance de sus objetivos y una evolución en el tiempo de los objetivos también diferente en función de los cambios operados en los sistemas (Tabla IV-13 y Gráfico IV-2).

El productor 1 pasó de un esquema con 58% de agricultura y 42% de ganadería en campo propio y 100% de agricultura en campo alquilado a un esquema en el que solo utiliza la tierra para agricultura, mientras que el productor 2 mantuvo un esquema equilibrado de superficie destinada a agricultura y a ganadería en campo propio, pasando en el periodo 2 a alquilar superficie para agricultura.

**Tabla IV-12: Uso de la tierra real.**

Cultivo	Productor 1				Productor 2			
	Periodo 1		Periodo 2		Periodo 1		Periodo 2	
	P	A	P	A	P	A	P	A
	Superficie (ha)							
Soja	63	32	175	553	79	0	565	334
Maíz	115	258	254	290	294	0	294	0
Trigo-Soja	0	58	110	0	50	0	257	200
Trigo-Maíz	0	0	0	0	123	0	0	0
Trigo	0	0	0	0	193	0	0	0
Girasol	80	35	0	0	664	0	361	0
Sorgo	0	7	0	0	149	0	0	0
Maní	54	142	0	0	0	0	0	0
Agricultura. Ha	312	532	539	843	1552	0	1477	534
(% superficie) *1	(58%)	(100%)	(100%)	(100%)	(49%)	(0%)	(47%)	(100%)
Pasturas anuales *2	56	0	0	0	410	0	427	0
Pasturas perennes *2	171	0	0	0	1.199	101	1.257	0
Ganadería. Ha	227	0	0	0	1609	101	1684	0
(% superficie) *1	(42%)	(0%)	(0%)	(0%)	(51%)	(100%)	(53%)	(0%)
<b>Total</b>	<b>539</b>	<b>532</b>	<b>539</b>	<b>843</b>	<b>3.161</b>	<b>101</b>	<b>3.161</b>	<b>534</b>

P: propia, A: alquilada.

\*1: Porcentaje calculado en referencia al total de la columna.

\*2: Incluye reservas (heno de alfalfa y silaje de maíz) y suplementación (grano de maíz).

Fuente: elaboración propia

Si bien en términos generales, los dos productores mejoraron tres objetivos (MBG, BMOS y PS) y empeoraron otros tres (CT, RE y DE), la intensidad de los cambios y las relaciones con umbrales críticos para los objetivos ambientales fue variable. Los cambios reales fueron más intensos para el productor 1, quien mejoró un 273% su MBG, reduciendo a la vez en un 81% su PS y aumentando su BMOS en 299% (Tabla IV-13). Mientras tanto, el productor 2 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 productor 1 también fueron más fuertes para aquellos atributos que empeoraron, a excepción de CT, ya que aumentó 63% su CT, 95% su RE y 257% su DE en relación al productor 2 cuyos aumentos fueron del 91%, 60% y 70% para cada atributo respectivamente.

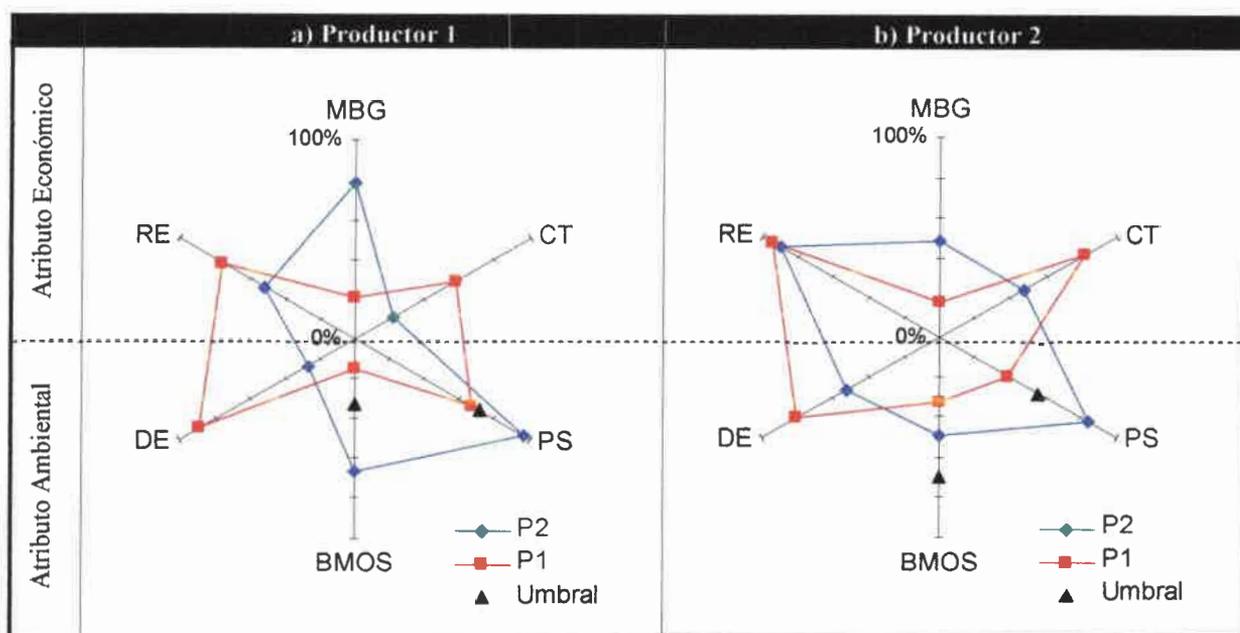
**Tabla IV-13: Valores reales de los atributos y cambios porcentuales entre periodos.**

Atributo	Unidad	Productor 1			Productor 2		
		Periodo	Periodo	Diferencia	Periodo	Periodo	Diferencia
		1	2	(%)	1	2	(%)
MBG	(\$c.año <sup>-1</sup> x1.000)	346	1.290	<u>273%</u>	1.403	2.569	<u>83%</u>
CT	(\$c.año <sup>-1</sup> x1.000)	969	1.579	63%	1.268	2.418	91%
RE	(\$c <sup>2</sup> .año <sup>-2</sup> x1.000.000)	105.267	205.745	95%	160.863	257.676	60%
PS	(Mg.año <sup>-1</sup> )	3.175	588	<u>-81%</u>	20.961	7.061	<u>-66%</u>
BMOS	(Mg.año <sup>-1</sup> )	-416	830	<u>299%</u>	-4.618	-2.551	<u>45%</u>
DE	(MJ.año <sup>-1</sup> x1.000)	1.789	6.384	257%	8.643	14.735	70%

Subrayados se muestran los atributos que mejoraron en el periodo 2 con respecto al periodo 1.

Fuente: elaboración propia

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 (Gráfico IV-2). En relación a los atributos económicos, mientras el productor 1 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, aun cuando el productor 2 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, alcanzando 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).



**Gráfico IV-2: Grado de alcance real de los objetivos de los productores 1 (a) y 2 (b) en los dos periodos.**

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

Fuente: elaboración propia

La mejora en los atributos ambientales BMOS y PS para el productor 1 es más fuerte y supera para el periodo 2 los umbrales establecidos en un BMOS neutro y una PS tolerable de 5 Mg.ha<sup>-1</sup>, alcanzando el 67 y 96 % de los mejores BMOS y PS respectivamente. En tanto, el productor 2 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 balance de materia orgánica 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 solo el 27% de la mínima dependencia de energía, mientras que el productor 2 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.

## **IV.7. Discusión de los resultados**

### **Atributos económicos**

Desde el punto de vista económico, el productor que aspira a obtener la mayor rentabilidad, necesita exponer la mayor cantidad de capital de trabajo y asumir máximo riesgo 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 productor 1, aun 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 (Bustamante, 2006; Viglizzo y Roberto, 1998) y reducen la variabilidad del resultado económico.

### **Atributos ambientales**

La combinación de alternativas que selecciona el modelo para generar resultados positivos en la dimensión ambiental es similar para diferentes atributos en el productor 1 durante el periodo 1. Un resultado análogo había sido señalado por de Prada et al., (2008) para la erosión y pérdida de suelo<sup>18</sup>, aunque es contrario al conflicto encontrado

---

<sup>18</sup>: La pérdida de suelo es la cantidad de suelo removida por el agua y transportada desde un sitio particular, mientras erosión de suelo es la cantidad de sedimentos que llega a un sitio de interés.

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 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 indicadores 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), lo cual sería posible teniendo en cuenta los bajos niveles de partida en el carbono del suelo (1,3% para el productor 1, 1,78% para el productor 2).

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 a través de un uso creciente de insumos de alta dependencia energética. 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).

### **Conflicto económico-ambiental**

Ambos productores alcanzaron en el periodo 2 una mejora simultánea en los valores de rentabilidad económica e indicadores ambientales como 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 productores 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<sup>-1</sup> consignados por Foster (2004b) 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.

### **Rotaciones e indicadores de sustentabilidad**

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 captura 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) planteados en numerosos trabajos.

## **IV.8. Resumen e implicancias de los hallazgos. Líneas a explorar**

Para el periodo 1 se identifica un importante conflicto entre la obtención del máximo MBG y el resto de los atributos. Para el caso de los atributos RE y CT, este conflicto se mantiene en el periodo 2 y resalta la importancia de contar con capital para

desarrollar un ciclo de producción y la necesidad de exposición a máximo riesgo para obtener los máximos beneficios económicos.

A su vez, los riesgos asumidos en la producción agropecuaria son crecientes lo cual indica que éste no ha sido un atributo valorado por los productores y que el trabajo en medidas relacionadas a la mitigación o transferencia de riesgo constituye una línea de acción necesaria con vistas a alcanzar resultados económicos estables. La diversificación de actividades productivas y la incorporación de actividades ganaderas son estrategias que captura el modelo como alternativas para mitigar este impacto.

Mientras tanto, para los atributos ambientales, obtener el mejor resultado económico iba en dirección opuesta a la calidad del ambiente durante el primer periodo, ya que el valor absoluto de los atributos ambientales sobrepasaba, en estos casos, los umbrales de tolerancia para PS y no alcanzaba a mantener un equilibrio en el caso de BMOS.

En el periodo 2, el conflicto entre el logro de la máxima rentabilidad y los atributos ambientales PS y BMOS se redujo de forma importante para ambos productores. La incorporación de labranza conservacionista en los sistemas y el aumento de la productividad de los cultivos han favorecido esta morigeración de los conflictos.

Sin embargo el conflicto respecto a minimizar la DE muestra una tendencia inversa, ya que se incrementó en el tiempo, independientemente del sistema analizado. Esto implica que la reducción de la pérdida de suelo por erosión, mejora en los balances de carbono del suelo y aumento de la renta económica se han logrado a expensas de una creciente dependencia de energía en los sistemas de producción y que es necesario comenzar a explorar alternativas que utilicen una menor cantidad de energía externa, así como definir claramente las funciones de producción para decidir el uso de insumos externos con mayor eficiencia.

En este sentido, los atributos ambientales siguen la misma dirección y muestran escaso conflicto entre sí para el productor 1 en el periodo 1. Sin embargo, para el resto de los casos, esta tendencia se mantiene para los atributos PS y BMOS, mientras que la DE entra en conflicto con estos dos objetivos. Este hallazgo es relevante, ya que implica la inexistencia de alternativas que mejoren los atributos ambientales de forma conjunta

y muestra un importante conflicto dentro de la propia dimensión ambiental, evidenciando que el esfuerzo en la mejora en la conservación de los recursos se ha enfocado respecto a atributos como PS y BMOS, dejando de lado los incrementos en DE. Este efecto es más marcado en el sistema que mayor grado de especialización tiene en el periodo 2, donde tanto en la frontera como en la situación real, la dependencia de energía se ha acentuado más fuertemente.

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. El modelo nunca selecciona sistemas de monocultivo en este caso solo por la presencia de restricciones de rotación; sin embargo, sería necesario definir con más precisión los efectos que las prácticas de monocultivo provocan sobre los rendimientos físicos de los cultivos e incorporar directamente en el modelo las penalidades de rendimiento que se producen para poder valorar el efecto de la rotación de cultivos<sup>19</sup>.

En relación a la tenencia de la tierra, el modelo captura diferencias entre planteos y rotaciones de campo propio y de campo alquilado teniendo en cuenta que las restricciones de rotación y la evaluación de atributos ambientales solo se realizan en campo propio. Esto implica una forma de utilizar los recursos y una racionalidad en la toma de decisiones variable según la tenencia de la tierra para los dos casos bajo estudio. En el caso de que este comportamiento sea generalizado en los productores del área, constituye una línea a explorar en relación al impacto sobre el ambiente de las diversas formas de tenencia de la tierra en general y en particular en el efecto de diferentes políticas sobre el uso y manejo de tierras arrendadas.

Las fronteras del periodo 2 alcanzan mejores valores de renta (MBG), de BMOS y casi siempre de PS, aunque los atributos de CT y DE han empeorado sustancialmente. En el periodo 2 relativo al periodo 1, se requiere un CT mínimo entre un 25 y un 100% mayor y se puede alcanzar una DE mínima de entre el doble y cuatro veces, lo cual implica que no se tienen en cuenta alternativas con baja utilización de insumos.

---

<sup>19</sup> A través de la definición y ajuste de las funciones de producción de los cultivos. Una aproximación en este sentido se encuentra en el Análisis de sensibilidad del presente trabajo (Capítulo VII)

Asimismo, el RE en términos de frontera se ha incrementado. Los productores exponen cada vez más capital en su proceso de producción y se encuentran con resultados cada vez más variables. Esto remarca la necesidad de ajustar las funciones de producción y trabajar sobre la incorporación de alternativas para la toma de decisión que demanden menor cantidad de capital de trabajo y energía externa, así como en medidas para mitigar la variabilidad de los resultados económicos.

Estos cambios en los óptimos de cada atributo fueron similares en tendencia pero más intensos en el productor 1, 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. Por ejemplo, el mínimo riesgo en el periodo 2 aumentó 11 veces para el productor 1 y un 49% para el productor 2, siempre en relación al periodo 1. Este efecto ocurre tanto en las fronteras de óptimos individuales como en la situación real del productor.

Si bien el uso de mayor proporción de gramíneas es reconocido por su aporte en la cobertura, reducción de la erosión y mayor aporte de rastrojos para el proceso de humificación (Dogliotti et al., 2004; Satorre, 2005), el mantenimiento de los coeficientes técnicos ante rotaciones que incluyen más de un año de gramíneas por año de oleaginosa, deberían ser exploradas, ya que análisis preliminares de bases de datos de producción zonales (AACREA, 2010a; AACREA, 2010b; AACREA, 2010c) indican que cualquier monocultivo genera una penalidad de rendimiento en el cultivo siguiente.

## V. FRONTERAS DE EFICIENCIA ECONOMÍA-AMBIENTE PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS EN EL CENTRO-SUR DE CÓRDOBA.

### V.1. Introducción y antecedentes

En términos generales, el concepto sustentabilidad está caracterizado por un conflicto entre el alcance de objetivos económicos y ambientales (Munda, 2005) y debe ser evaluado desde una óptica multidimensional (Dogliotti et al., 2004; Osinski et al., 2003). Cuando se desea evaluar problemas desde una perspectiva de múltiples criterios, en lugar de un óptimo individual, existe un conjunto de soluciones óptimas en las que la mejora de un criterio no puede ser alcanzada sino a través del empeoramiento de otro (deVoil et al., 2006), lo cual se denomina conjunto de soluciones eficientes según Pareto (Ballesteros y Romero, 1998; Portillo et al., 2005).

En ese conjunto, la **compensación** (*en inglés "trade-offs"*) entre criterios muestra cuánto hay que sacrificar de un objetivo para mejorar en otro. Si bien matemáticamente se pueden desarrollar las funciones de compensación para más de un

atributo, la presentación visual usualmente debe comprender pares de objetivos (Zander y Kächele, 1999), demarcando lo que se denomina **frontera de eficiencia**, que permite analizar el máximo alcance de una meta bajo ciertas condiciones, definiendo los límites de la solución multidimensional (bidimensional en este caso) y establecer el área de complementariedad entre criterios y áreas donde una pequeña reducción en el alcance de un criterio puede definir el alcance de un gran incremento en otro.

Como fue analizado en detalle en el capítulo II, utilizando análisis de compensaciones y representaciones de fronteras de eficiencia, algunos trabajos (deVoil et al., 2006; Lakshminarayan et al., 1995) indican un importante conflicto entre determinados atributos económicos y ambientales (i.e. la mejora en un atributo ambiental solo es posible con importantes resignaciones de los atributos económicos), mientras que para otros trabajos se reporta un conflicto menor (de Koeijer et al., 1995; de Prada et al., 2008; Lu y van Ittersum, 2004; Meyer-Aurich, 2005), lo cual se evidencia en mejoras de relevancia de un atributo ambiental con mínimas resignaciones de los resultados económicos. La principal diferencia en estos trabajos viene dada por el impacto ambiental evaluado y por consiguiente el atributo tenido en cuenta en la comparación.

Asimismo, la relación entre la renta y el riesgo económico es un tema de alta relevancia en las discusiones acerca de los sistemas de producción, con posturas que indican un fuerte aumento del riesgo ante especialización de los sistemas de producción hacia mayor predominancia de cultivos agrícolas (Bustamante, 2006; Cardinal, 2006; Marín-Moreno, 2006) hasta posiciones que argumentan posibilidades de tener sistemas especializados en cultivos agrícolas con mayor renta y riesgos que se incrementen menos que proporcionalmente respecto al aumento de renta (Ficco, 2006; Iguerabide, 2006)

Estas relaciones (económico/ambiental, económico/económico) están estudiadas con diversos atributos, no siempre coincidentes entre trabajos, dado el alcance de los mismos. Sin embargo no están relevadas con información primaria para sistemas de producción agropecuarios del sur de Córdoba. Este capítulo cuantifica las fronteras de eficiencia para determinar el grado de conflicto entre los atributos económicos y ambientales para los sistemas de producción estudiados, la evolución en el tiempo de

estos conflictos y las rotaciones de cultivo que soportan los resultados obtenidos por cada productor. Además, se aportan elementos objetivos para el análisis de la relación renta-riesgo en los sistemas de producción agropecuarios del centro-sur de Córdoba.

El resto del capítulo se estructura de la siguiente manera: en V.2 se presenta el método de las restricciones para alcanzar el conjunto de resultados Pareto-eficientes de pares de atributos y la representación gráfica de los resultados; en las secciones V.3 y V.4 se exponen los resultados del análisis de compensaciones para la relación renta económica – conservación de suelo, y renta económica – dependencia energética respectivamente, enfatizando la evolución del conflicto económico-ambiental y los planteos de rotación que suponen mejora en una u otra dirección. El apartado V.5 incluye el análisis de la frontera de eficiencia para los atributos MBG y RE. En la parte V.6 se discuten los resultados del capítulo y por último, en V.7 se presenta un resumen de los hallazgos y las líneas a explorar.

## **V.2. Método. Conjunto de resultados Pareto-eficientes.**

Dentro del marco de la Programación Matemática Multicriterio, un conjunto de **soluciones Pareto-eficientes** involucra aquellos puntos donde la mejora de un criterio no es posible sin empeorar otro (Ballester y Romero, 1998). La Programación por restricciones permite generar resultados “Pareto eficientes” entre pares de atributos optimizando una de las funciones objetivo y parametrizando la restante como restricción (Lu y van Ittersum, 2004). El análisis de las compensaciones entre atributo<sub>i</sub> y atributo<sub>j</sub> implica numerosos procesos de optimización del atributo<sub>i</sub>, en las que el atributo<sub>j</sub> pasa a ser una restricción del modelo general presentado en el capítulo III, cuya condición de igualdad ( $b_j$ ) se establece por medio de la Ecuación V.1 y V.2 para objetivos de maximización y minimización respectivamente.

$$b_j = g_{*ij} + PA_j (g_{ij}^* - g_{*ij}) \quad \text{Ecuación V.1}$$

$$b_j = g_{*ij} - PA_j (g_{*ij} - g_{ij}^*) \quad \text{Ecuación V.2}$$

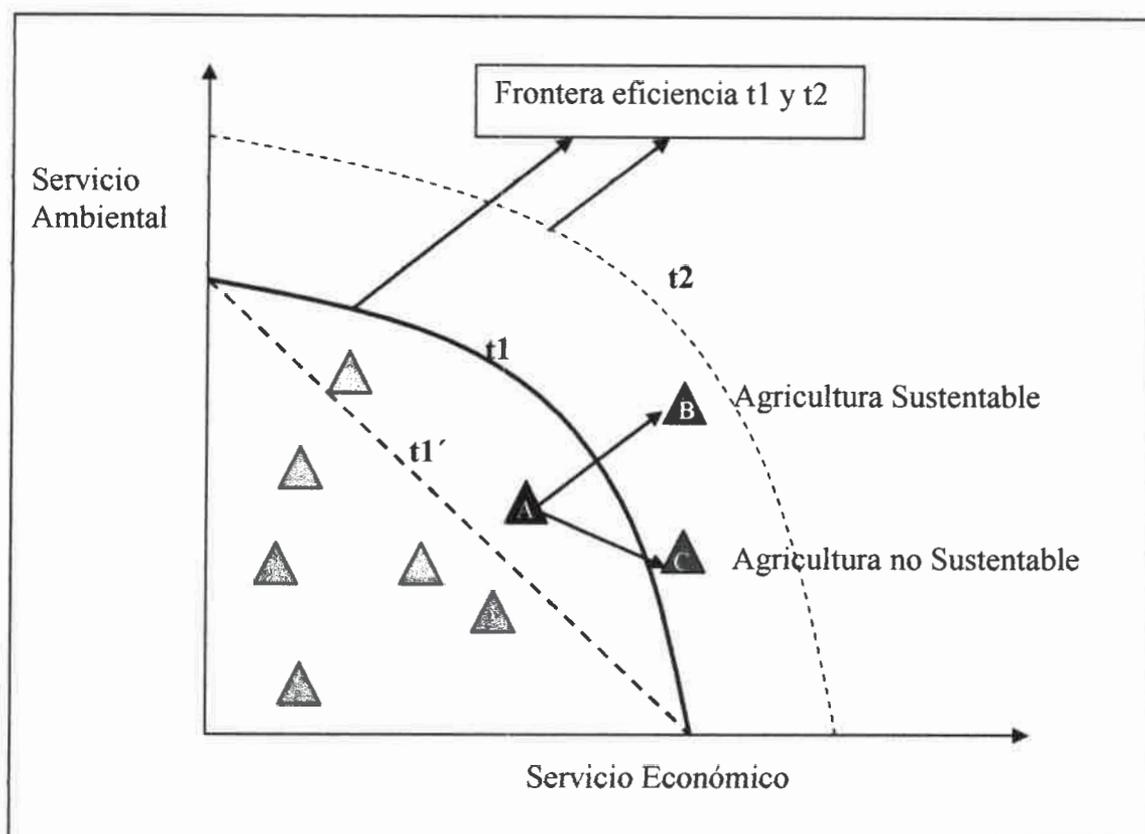
Donde  $PA_j$  representa el porcentaje de alcance del atributo $_i$ , definido en el capítulo IV, que toma valores entre 0 y 100% con diferencias de 10%,  $g_{ij}^*$  es el valor ideal del atributo $_j$  y  $g_{*ij}$  corresponde al peor valor de ese atributo dentro de la matriz de pago<sup>20</sup>.

Para facilitar la presentación gráfica de las compensaciones, los resultados de los atributos son normalizados, siguiendo la misma metodología que en el Capítulo IV (ver ecuaciones IV.1 y IV.2).

El Esquema V-1 representa el modelo conceptual para interpretar las fronteras de soluciones eficientes para pares de atributos. La curva con línea llena es el conjunto de soluciones eficientes para un determinado momento,  $t_1$ .  $t_1'$  indica otra posible forma de la frontera de eficiencia, con un mayor conflicto entre los servicios económicos y ambientales respecto a  $t_1$ . Asimismo es posible evaluar el movimiento de la curva entre dos períodos ( $t_1$ ;  $t_2$ ) y la ubicación del productor agropecuario en estudio en cada momento, permitiendo responder si un aumento de los servicios económicos (representado a través de un atributo económico particular) se logró a expensas de calidad ambiental indicada mediante un atributo ambiental determinado (de A hacia C) o junto a una mejora en este sentido (de A hacia B).

---

<sup>20</sup>: El peor valor que alcanza un atributo normalmente se denomina nadir o anti-ideal; sin embargo, en este caso el valor es el peor para la matriz de pago y no constituye necesariamente el peor valor posible del atributo.



**Esquema V-1: Representación de la relación entre servicio económico y servicio ambiental para dos momentos (t1 y t2), con 2 formas posibles para t1 (1 y 1'). Ubicación de productores agropecuarios en relación a la curva t1 (por ejemplo Triángulo A) y posible evolución ante cambio en la frontera de eficiencia (Triángulos B y C). Fuente: elaboración propia**

### **V.3. Rentabilidad económica y conservación de suelo**

La relación entre MBG y conservación de suelo (CS)<sup>21</sup>-PS para el productor 1 se muestra en la Tabla V-1. Para la metodología de programación por restricciones, MBG fue tomado como una restricción con valores porcentuales de alcance (PA) entre 0 y 100% con diferencias de 10%, mientras que el alcance de CS se define de acuerdo al resultado de la optimización.

En primera instancia, se observa que ante cambios en el alcance del MBG porcentualmente iguales, en el periodo 1 había una brecha muy importante para la mejora en la conservación de suelo, mientras que en el periodo 2, un alcance diferencial

<sup>21</sup>: Calculada como la resta entre la máxima pérdida de suelo en ambos periodos y la pérdida de suelo de cada resultado, con el objetivo de invertir el sentido de mejora hacia más es mejor.

en MBG se corresponde con cambios muy pequeños en la CS, la cual es alta en todos los casos. Así, para el período 1 la maximización del MBG implica mínimo alcance del objetivo de minimizar la PS, con valores que superan la PS tolerada, estimada para esta condición en 5 T ha<sup>-1</sup> con RUSLE II (Foster, 2004b). Luego, con una resignación del orden del 30% respecto al máximo MBG pueden lograrse reducciones en la PS más que proporcionales (76%) y caer debajo del umbral de PS establecido. Mientras tanto, en el período 2 se puede maximizar el MBG y a la vez alcanzar un 96% de la máxima conservación de suelo (o mínima PS), lo cual implica que el conflicto entre los atributos MBG y PS-CS se ha reducido drásticamente, haciéndolo en términos prácticos inexistente para este sistema de producción, aunque no se logren los valores de máxima CS alcanzados en el período 1. Los aumentos en los rendimientos de los cultivos agrícolas, sumados al cambio en el sistema de labranza destacados en el capítulo III, generan un aumento significativo en los residuos de cosecha y su mantenimiento sobre la superficie del suelo, lo que constituye la principal causa de aumento de la CS (los valores de PS de los cultivos agrícolas en el período 2, aunque superiores, se aproximan a los valores de las pasturas).

**Tabla V-1: Frontera MBG y PS-CS, Periodos 1 y 2, productor 1.**

Periodo 1						Periodo 2					
MBG		PS		CS		MBG		PS		CS	
alcance	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	T. año <sup>-1</sup>	T.año <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	T. año <sup>-1</sup>	alcance	alcance <sup>22</sup>	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	T. año <sup>-1</sup>	T.año <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	T. año <sup>-1</sup>	alcance
100%	703	8.894	16,5	0	0%	100%	1.641	574	1,1	8.319	96%
90%	668	6.697	12,4	2.196	25%	90%	1.632	547	1,0	8.347	97%
80%	633	4.501	8,4	4.392	51%	80%	1.622	522	1,0	8.371	97%
70%	598	2.305	4,3	6.588	76%	70%	1.612	498	0,9	8.395	97%
60%	563	988	1,8	7.906	91%	60%	1.603	474	0,9	8.419	97%
50%	528	783	1,5	8.110	94%	50%	1.593	450	0,8	8.444	98%
40%	493	579	1,1	8.314	96%	40%	1.583	426	0,8	8.468	98%
30%	458	431	0,8	8.463	98%	30%	1.574	402	0,7	8.492	98%
20%	423	342	0,6	8.552	99%	20%	1.564	379	0,7	8.515	98%
10%	388	294	0,5	8.599	99%	10%	1.555	374	0,7	8.520	99%
0%	352	247	0,5	8.647	100%	0%	1.545	369	0,7	8.525	99%
Rango	351	8.647	16,0	8.647			96	205	0,4	205	

Fuente: elaboración propia

El productor 2, quien mantuvo un sistema de producción mixto, tiene una relación MBG-CS similar al productor 1 para el primer periodo, aunque debía resignar

<sup>22</sup>: El periodo 1 es tomado como referencia para calcular el grado de alcance del atributo ambiental.

algo más de MBG (cerca del 40%) para llegar a PS del orden de 5 T.ha<sup>-1</sup>, alcanzando un 60% de la máxima CS posible dentro del periodo (Tabla V-2). Para el periodo 2, también puede conseguir una PS menor a la tolerable maximizando MBG, su margen de mejora es levemente mayor, a diferencia del productor 1, puede alcanzar PS menores que en el periodo 1, ya que mantiene la posibilidad de realizar pasturas en su esquema de rotaciones.

**Tabla V-2: Frontera MBG y PS-CS, Periodos 1 y 2, productor 2.**

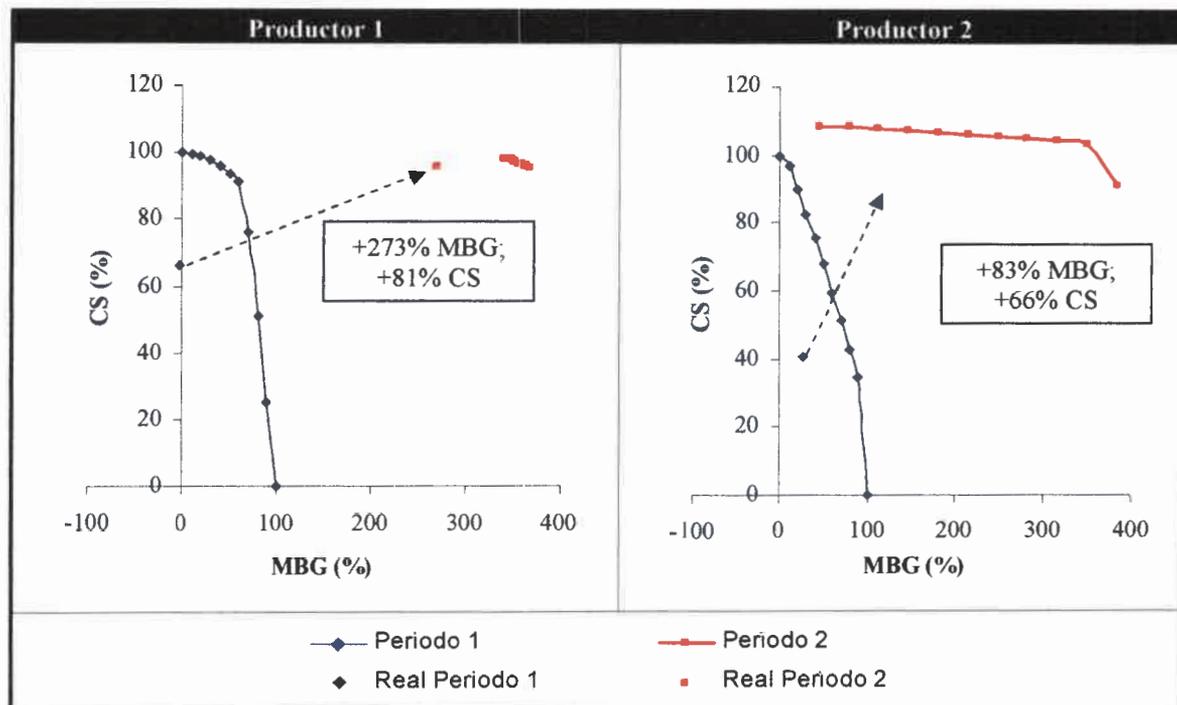
Periodo 1						Periodo 2					
MBG		PS		CS		MBG		PS		CS	
alcance	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	T. año <sup>-1</sup>	T.año <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	T. año <sup>-1</sup>	Alcance	alcance	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	T. año <sup>-1</sup>	T.año <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	T. año <sup>-1</sup>	Alcance
100%	2.302	32.684	10,3	0	0	100%	5.770	6.675	2,1	26.010	91%
90%	2.181	22.815	7,2	9.869	35%	90%	5.356	3.235	1,0	29.449	103%
80%	2.060	20.442	6,5	12.242	43%	80%	4.942	2.921	0,9	29.764	104%
70%	1.938	18.070	5,7	14.615	51%	70%	4.528	2.729	0,9	29.955	105%
60%	1.817	15.697	5,0	16.988	60%	60%	4.114	2.567	0,8	30.117	106%
50%	1.696	13.324	4,2	19.360	68%	50%	3.700	2.412	0,8	30.273	106%
40%	1.575	11.208	3,5	21.476	75%	40%	3.286	2.272	0,7	30.412	107%
30%	1.453	9.155	2,9	23.530	82%	30%	2.872	2.133	0,7	30.551	107%
20%	1.332	7.102	2,2	25.583	90%	20%	2.458	1.994	0,6	30.691	108%
10%	1.211	5.131	1,6	27.554	97%	10%	2.044	1.854	0,6	30.830	108%
0%	1.090	4.191	1,3	28.493	100%	0%	1.630	1.715	0,5	30.970	109%
<b>Rango</b>	1.212	28.493	9,0	28.493			4.140	4.960	1,6	4.960	

Fuente: elaboración propia

El Gráfico V-1 ilustra esta relación, observándose que en la frontera de resultados eficientes del periodo 1, la brecha de conservación de suelo era muy grande para ambos productores, quienes podían alcanzar mejoras considerables en su CS resignando entre 30-40% de su máximo MBG, mientras que en el periodo 2 la brecha es muy pequeña, sobre todo para el productor 1, quien ha especializado su sistema de producción al límite de que la amplitud en los resultados económicos y ambientales para estos criterios es muy baja para cualquier combinación de alternativas.

Las opciones que tiene en cuenta el TDA en el periodo 2 implican una mejora en la frontera de las soluciones eficientes MBG-CS para los dos productores, aunque el productor 1 solo considera un conjunto de alternativas de mejor comportamiento para los dos atributos, dejando de lado aquellas que, si bien tienen un comportamiento en CS mejor que para el periodo 1, deben resignar gran MBG para lograr modestas mejoras en la CS.

La evolución real de ambos productores muestra una mejora significativa en ambos atributos, aunque las magnitudes difieren entre productores. El Gráfico V-1 ilustra que en la combinación de actividades realmente utilizada por el TDA (puntos en el gráfico), el productor 1 ha mejorado en un 273% el MBG y en un 81% la conservación de suelo, mientras que la mejora real en estos atributos en el productor 2 fue del orden del 83 y 66% para MBG y CS respectivamente.



**Gráfico V-1: Fronteras de eficiencia MBG-CS en valores normalizados tomando como referencia máxima y mínima al periodo 1 (líneas). Ubicación de los productores en relación a las fronteras (puntos).**

Nota: El recuadro indica el aumento en MBG y CS en términos absolutos para la situación real de los productores (detalle en Tabla IV-13) y la flecha la dirección de cambio de los atributos.

Fuente: elaboración propia.

## Uso de la tierra que selecciona el modelo.

La selección de usos de la tierra que realiza el modelo es una de las principales vías para lograr diferente grado de alcance de los distintos atributos. *Ceteris paribus*<sup>23</sup> en los parámetros del modelo, la asignación de cultivos que selecciona el modelo, se repite en el tiempo, generando la rotación.

<sup>23</sup>: *Ceteris paribus* en los parámetros del modelo implica el supuesto de que los coeficientes de contribución y restricciones se mantienen constantes, es decir que son independientes de las rotaciones de cultivos.

El Gráfico V-2 muestra la selección de rubros de producción que realiza el modelo para diferentes grados de alcance del atributo CS para tierra propia y alquilada (por debajo y por encima de la línea punteada respectivamente). Un desplazamiento hacia la derecha dentro del gráfico implica una mayor conservación de suelo a expensas de menor MBG.

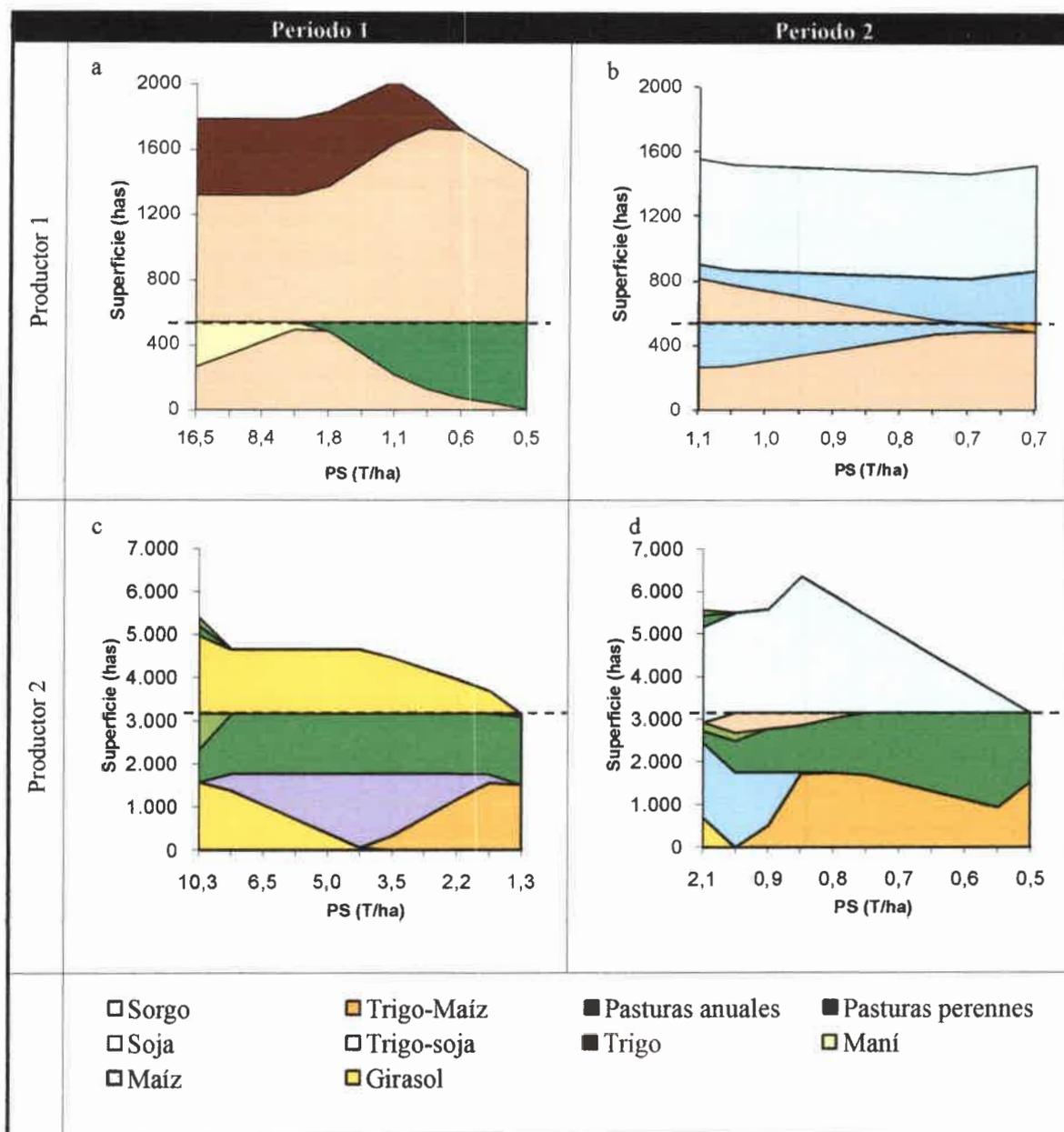
Las estrategias que utiliza el modelo, en términos de rotación de cultivos, para mejorar la conservación de suelo son variables de acuerdo al periodo en análisis (alternativas productivas incluidas en el modelo) y a los productores considerados.

Los planteos de máxima renta para el productor 1 combinan en los dos periodos dos cultivos agrícolas en una rotación de corto plazo, Maíz; Maní para el periodo 1 (Gráfico V-2.a) y Maíz; Trigo-Soja para el periodo 2 (Gráfico V-2.b). En ambos casos, cabe destacar que la inclusión de maíz en el campo propio es debida a la restricción de rotación que impide el monocultivo de maní y soja, que en el corto plazo serían las opciones más rentables. Los aumentos en la conservación de suelo para ambos periodos se logran reduciendo la proporción de leguminosas (maní en periodo 1 y trigo-soja en periodo 2), y aumentando la proporción de gramíneas. Para el caso del periodo 1, alcances de PS menores a 2 T/ha (75% de alcance de CS) solo son posibles a través de la inclusión de pasturas en la rotación. Mientras tanto, en el periodo 2 pueden lograrse alcances de CS mayores al 95% (PS = 1,1 T/ha) y a la vez máximos MBG realizando una rotación maíz – trigo-soja. Mejores valores de CS se obtendrían aumentando la superficie destinada a maíz a expensas de superficie destinada a doble cultivo<sup>24</sup>.

Para el productor 2, la rotación con máxima renta para ambos periodos incluye 50-70% de leguminosas (girasol y soja) y el resto de pasturas anuales y perennes de forma equilibrada. Mientras tanto, el aumento en la conservación de suelo se logra con estrategias de uso de la tierra similares al productor 1; es decir mediante proporciones mayores de superficie agrícola destinadas a cultivos de gramíneas (maíz, trigo, sorgo) y aumentos en la superficie destinada a ganadería con pasturas perennes.

---

<sup>24</sup>: el modelo no incorpora diferencias de rendimiento por aumento de maíz a más del 50% de la superficie, lo cual implicaría realizar maíz sobre rastrojos de maíz.



**Gráfico V-2: Cambios en el patrón de uso de la tierra que selecciona el modelo para distintos alcances de los atributos MBG y CS.**

Nota: La línea de puntos divide, hacia abajo, la superficie propia y hacia arriba, la superficie alquilada.  
Fuente: Elaboración propia

Las combinaciones de alternativas con mayor proporción de pasturas perennes dentro de la producción ganadera y cultivos de gramíneas en la agricultura tienden a aumentar la CS. Además, se puede alcanzar una CS cercana a la óptima con una alta proporción de gramíneas en un planteo puramente agrícola (productor 1, periodo 2).

En resumen, la relación entre MBG y PS muestra un bajo grado de conflicto en el periodo 1, esto es, pequeñas resignaciones del resultado económico generan grandes

mejoras en el atributo ambiental. Por otro lado el conflicto prácticamente desaparece en el periodo 2, ya que en ambos casos se logra una alta conservación de suelo, independientemente del resultado económico (incluso en la maximización de MBG). Asimismo, ambos productores han mejorado en ambas dimensiones de la sustentabilidad, aún bajo estrategias productivas diferentes; la diferencia más notable entre productores se muestra en la mayor dimensión de la mejora del atributo económico lograda en el productor 1, quien ha especializado su sistema, logrado aumentos reales respecto al periodo 1 que alcanzan el triple de los alcanzados por el productor 2.

#### **V.4. Rentabilidad económica y dependencia energética**

Cuando se compara la relación entre MBG y DE, ocurre una evolución entre periodos inversa a la observada para el par de atributos MBG-PS, ya que la relación muestra una marcada desmejora entre los dos periodos analizados para ambos productores.

Durante el periodo 1, el conflicto entre los indicadores era relativamente bajo, teniendo en cuenta que se podía alcanzar 70% del máximo MBG y a la vez un 55% de la mínima DE para el productor 1 (Tabla V-3) y 51% para el productor 2 (Tabla V-4).

Mientras tanto, las alternativas productivas para el periodo 2 representan una desmejora drástica de la DE, ya que no existen alternativas de baja utilización de insumos externos y la mínima DE (ideal para el periodo 2 en DE) es mayor que la máxima para el periodo 1 (anti ideal en el periodo 1) en ambos productores.

Este cambio es, en términos relativos al primer periodo, mayor para el productor 2, aunque en términos absolutos, los planteos de frontera con más dependencia energética ocurren en el productor más especializado. Cuando en el periodo 2 se maximiza MBG, el planteo para el productor 1 utiliza en promedio  $14.690 \text{ Mj. año}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  mientras que el productor 2 requiere  $9.500 \text{ Mj. año}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

**Tabla V-3: Frontera MBG y DE, Periodos 1 y 2, productor 1**

Periodo 1					Periodo 2				
MBG		DE			MBG		DE		
Alcance	\$c. año <sup>1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> x1.000	MJ. ño <sup>-1</sup> ha <sup>1</sup> x1.000	Alcance	Alcance	\$c. año <sup>-1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> ha <sup>1</sup> x1.000	alcance
100%	703	3.220	5,97	0%	100%	1.641	7.917	14,69	-204%
90%	655	2.795	5,19	18%	90%	1.627	6.955	12,90	-162%
80%	606	2.370	4,40	37%	80%	1.613	5.993	11,12	-120%
70%	558	1.958	3,63	55%	70%	1.599	5.175	9,60	-85%
60%	509	1.564	2,90	72%	60%	1.585	4.570	8,48	-59%
50%	460	1.239	2,30	86%	50%	1.571	3.979	7,38	-33%
40%	412	998	1,85	96%	40%	1.557	3.968	7,36	-32%
30%	363	959	1,78	98%	30%	1.543	3.958	7,34	-32%
20%	315	938	1,74	99%	20%	1.529	3.947	7,32	-31%
10%	266	928	1,72	99%	10%	1.515	3.937	7,30	-31%
0%	217	918	1,70	100%	0%	1.501	3.926	7,28	-31%

Fuente: elaboración propia

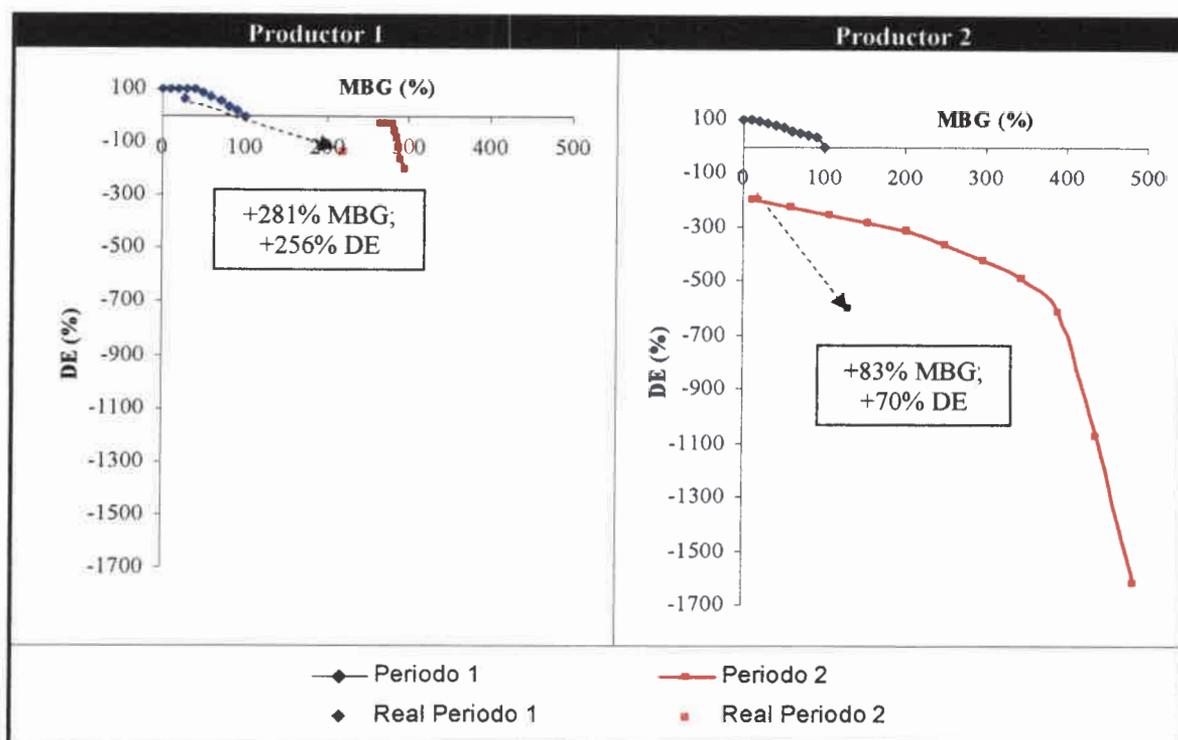
**Tabla V-4: Frontera MBG y DE, Periodos 1 y 2, productor 2**

Periodo 1					Periodo 2				
MBG		DE			MBG		DE		
Alcance	\$c. año <sup>1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> ha <sup>1</sup> x1.000	Alcance	Alcance	\$c. año <sup>-1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> x1.000	MJ.año <sup>-1</sup> ha <sup>1</sup> x1.000	Alcance
100%	2.302	5.842	1,85	0%	100%	5.770	30.037	9,50	-1623%
90%	2.193	5.356	1,69	33%	90%	5.345	21.869	6,92	-1075%
80%	2.083	5.212	1,65	42%	80%	4.921	15.020	4,75	-615%
70%	1.973	5.084	1,61	51%	70%	4.496	13.134	4,15	-489%
60%	1.864	4.955	1,57	59%	60%	4.071	12.193	3,86	-426%
50%	1.754	4.827	1,53	68%	50%	3.646	11.290	3,57	-365%
40%	1.644	4.698	1,49	77%	40%	3.222	10.538	3,33	-315%
30%	1.535	4.570	1,45	85%	30%	2.797	10.100	3,20	-286%
20%	1.425	4.453	1,41	93%	20%	2.372	9.663	3,06	-256%
10%	1.315	4.397	1,39	97%	10%	1.947	9.226	2,92	-227%
0%	1.206	4.352	1,38	100%	0%	1.523	8.789	2,78	-198%

Fuente: elaboración propia

El Gráfico V-3 ilustra la relación entre los indicadores en la frontera de eficiencia para cada periodo y la ubicación real del sistema en cada momento. Todas las alternativas que ocurren en la frontera de soluciones eficientes en el periodo 2 muestran una mayor dependencia de energía externa respecto a las del periodo 1 para los dos productores porque las alternativas con baja utilización de insumos externos no han sido consideradas por ninguno de los TDA en el segundo periodo.

Asimismo, se observa que el aumento de MBG real tiene una relación casi directa al aumento de energía utilizada en el proceso de producción (273% en MBG a costa de un incremento de 256% en la dependencia de energía externa para el productor 1 y 83% de aumento de MBG con 70% de aumento de DE en el productor 2).



**Gráfico V-3: Fronteras de eficiencia MBG-DE en valores normalizados tomando como referencia máxima y mínima al periodo 1 (líneas). Ubicación de los productores en relación a las fronteras (puntos).**

Nota: El recuadro indica el aumento en MBG y DE en términos absolutos y la flecha la dirección de cambio de los atributos.

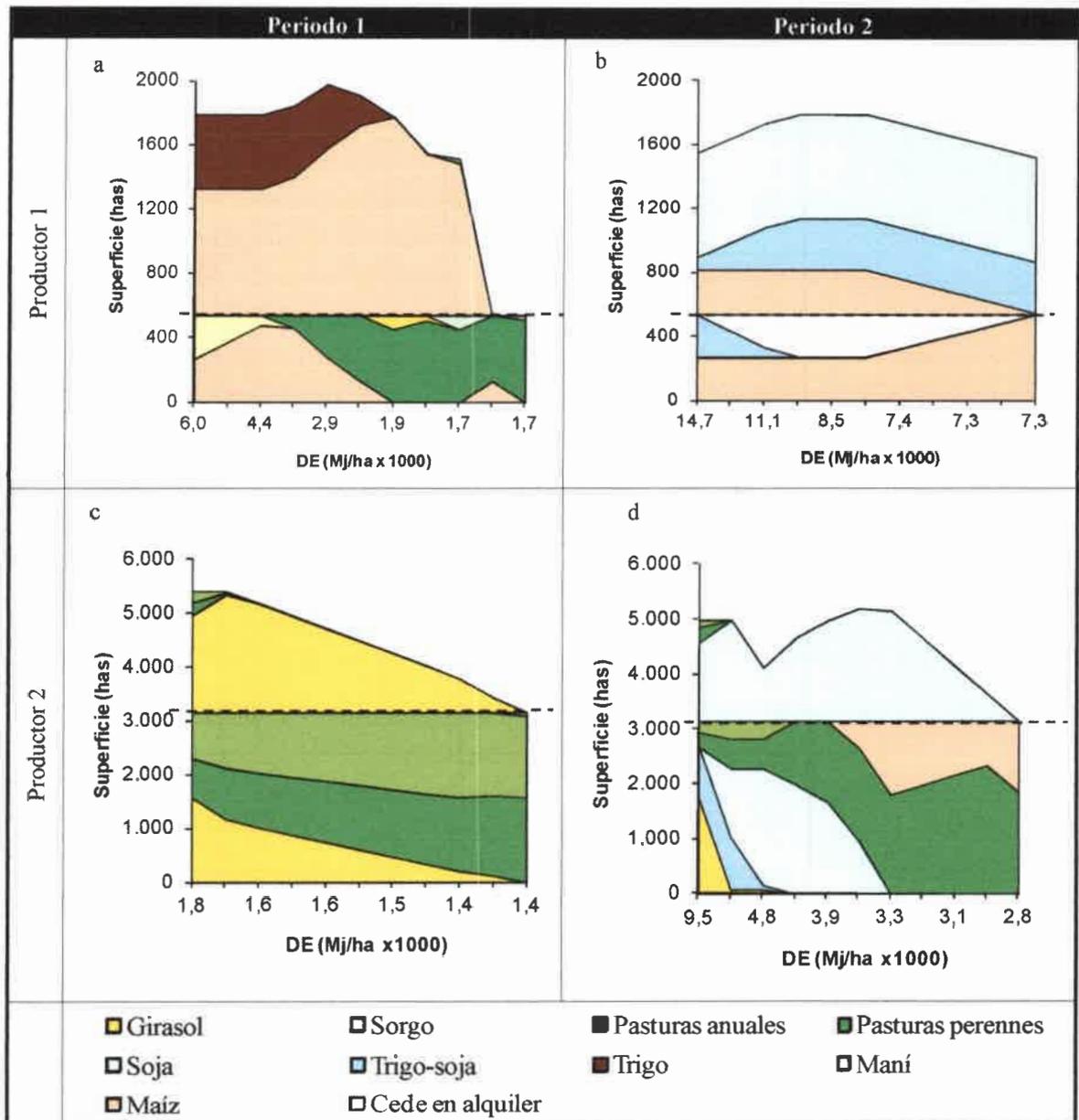
Fuente: Elaboración propia

### Uso de la tierra que selecciona el modelo.

El modelo selecciona diferentes estrategias de uso de la tierra para reducir la dependencia de energía para los dos productores y en los dos periodos. Para el productor 1 en el periodo 1 (Gráfico V-4.a), el modelo selecciona dejar de hacer maní y aumentar paulatinamente la proporción de ganadería en función de cuanto MBG se resigne. Para alcanzar planteos con menos de  $2.000 \text{ MJ}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ , el modelo selecciona pasturas perennes para más del 80% de la superficie propia. Mientras tanto, en el segundo periodo, las alternativas que reducen la dependencia de energía externa para el productor 1 (Gráfico V-4.b) son alquilar la tierra o realizar maíz con baja carga de insumos (específicamente sin fertilizantes).

Para el productor 2, la reducción de la dependencia de energía externa se alcanza reduciendo la superficie destinada al cultivo de girasol y aumentando la asignada a pasturas perennes para la ganadería en el periodo 1 (Gráfico V-4.c), mientras que en el periodo 2, con las primeras resignaciones de MBG se reduce de forma importante la

superficie destinada a trigo-soja y girasol a expensas de superficie destinada a soja de primera y pasturas. Luego, para lograr planteos con dependencia de energía menor a 4.000 Mj.año<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> se necesita mayor cantidad de pasturas y agricultura con cultivo de maíz.



**Gráfico V-4: Usos de la tierra que selecciona el modelo para distintos alcances de los atributos MBG y DE.**

Nota: La línea de puntos divide, hacia abajo, la superficie propia y hacia arriba, la superficie alquilada.  
Fuente: Elaboración propia

En síntesis las alternativas que realmente tienen en cuenta los TDA para el segundo periodo, implican en todos los casos formas de producir mucho más dependientes de energía externa respecto al periodo 1. Los resultados económicos, en

tanto, son mucho más altos en el periodo 2 ante restricciones de aportes energéticos aplicados al sistema. No obstante existen diferencias entre los sistemas de producción, ya que el productor 1, con un sistema agrícola puro tiene un margen mayor para reducir la dependencia de energía externa, a costa de pérdidas mayores en su resultado económico.

## **V.5. Rentabilidad y Riesgo económico**

La relación entre MBG y RE ha cambiado de forma diferente en el tiempo para ambos productores: para el productor 1 (Tabla V-5), la variabilidad de su resultado económico se reduce cuando se maximiza MBG en el periodo 2 (VAR: 228 mil millones  $\text{\$c}^2.\text{año}^{-2}$ ; D: 478 mil  $\text{\$c}.\text{año}^{-1}$ )<sup>25</sup> respecto al periodo 1 (VAR: 422 mil millones  $\text{\$c}^2.\text{año}^{-2}$ ; D: 650 mil  $\text{\$c}.\text{año}^{-1}$ ). Mientras tanto para el productor 2 sucede una situación inversa (Tabla V-6) en la que el alcance del máximo MBG implica mayor riesgo en el periodo 2 (VAR: 1.736 mil millones  $\text{\$c}^2.\text{año}^{-2}$ ; D: 1.318 mil  $\text{\$c}.\text{año}^{-1}$ ) en relación con el primer periodo de referencia (VAR: 1.331 mil millones  $\text{\$c}^2.\text{año}^{-2}$ ; D: 1.154 mil  $\text{\$c}.\text{año}^{-1}$ ).

Por otro lado, si el objetivo es minimizar el RE, ninguno de los productores puede alcanzar niveles tan bajos de riesgo como en el periodo 1 bajo las opciones tenidas en cuenta en el periodo 2. Esta situación es mucho más drástica en el productor 1, cuyo mínimo riesgo en términos de varianza del MBG es aproximadamente doce veces mayor al mínimo riesgo posible para el periodo 1 (VAR: 24,8 mil millones  $\text{\$c}^2.\text{año}^{-2}$  vs VAR: 2,1 mil millones  $\text{\$c}^2.\text{año}^{-2}$ ).

---

25: La magnitud del RE es mostrada en las Tablas V-5 y V-6 como desvío estándar (D) además de la forma más frecuente de este trabajo, varianza (VAR), ya que D implica una dimensión absoluta comparable con el MBG.

**Tabla V-5: Frontera MBG y RE, Periodos 1 y 2, productor 1**

MBG		Periodo 1			MBG		Periodo 2		
Alcance	\$c.año <sup>-1</sup> x1.000	VAR (\$c <sup>2</sup> .año <sup>-2</sup> x1.000.000)	D (\$c.año <sup>-1</sup> x1.000)	Alcance	Alcance	\$c.año <sup>-1</sup> x1.000	VAR (\$c <sup>2</sup> .año <sup>-2</sup> x1.000.000)	D (\$c.año <sup>-1</sup> x1.000)	Alcance
100%	703	422.422	650	0,0%	100%	1.641	228.476	478	46,1%
90%	635	157.898	397	62,9%	90%	1.527	151.830	390	64,4%
80%	566	101.218	318	76,4%	80%	1.413	123.143	351	71,2%
70%	497	67.591	260	84,4%	70%	1.299	100.768	317	76,5%
60%	428	42.366	206	90,4%	60%	1.185	81.421	285	81,1%
50%	359	23.629	154	94,9%	50%	1.071	64.419	254	85,2%
40%	290	11.713	108	97,7%	40%	957	50.001	224	88,6%
30%	221	6.458	80	99,0%	30%	843	38.078	195	91,4%
20%	152	4.332	66	99,5%	20%	729	29.792	173	93,4%
10%	84	2.755	52	99,8%	10%	615	26.996	164	94,1%
0%	15	2.138	46	100,0%	0%	502	24.856	158	94,6%

Fuente: elaboración propia

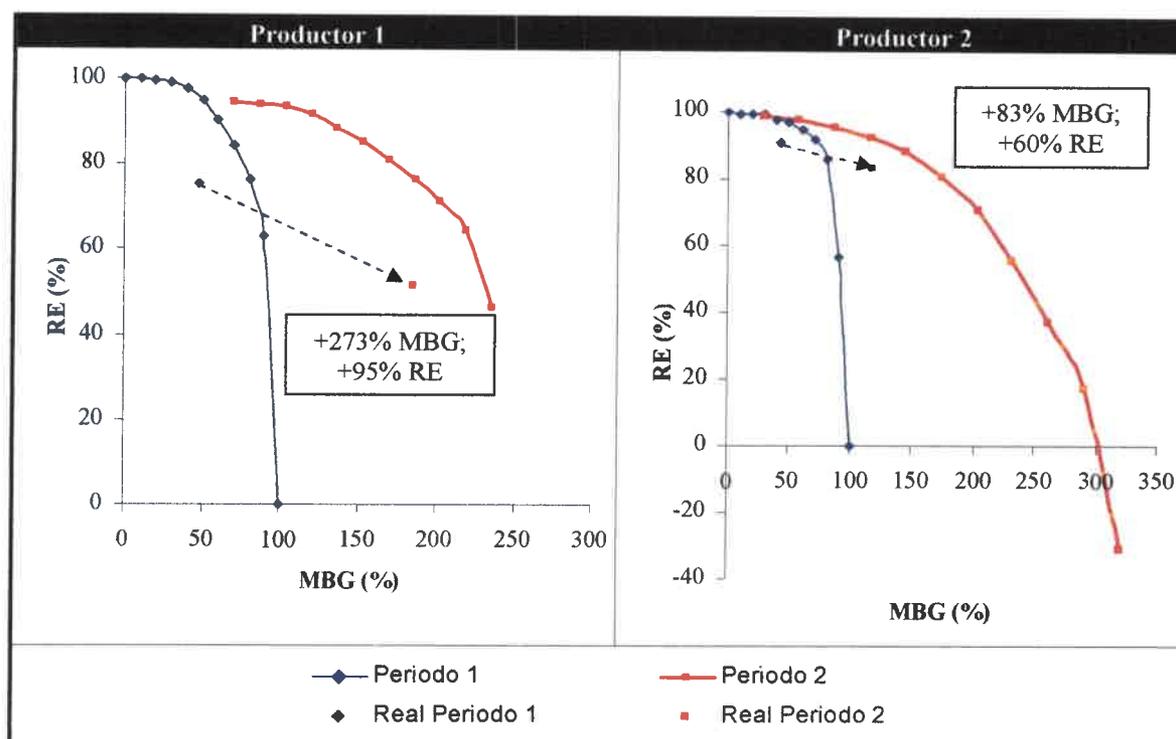
**Tabla V-6: Frontera MBG y RE, Periodos 1 y 2, productor 2**

MBG		Periodo 1			MBG		Periodo 2		
Alcance	\$c.año <sup>-1</sup> x1.000	VAR (\$c <sup>2</sup> .año <sup>-2</sup> x1.000.000)	D (\$c.año <sup>-1</sup> x1.000)	Alcance	Alcance	\$c.año <sup>-1</sup> x1.000	VAR (\$c <sup>2</sup> .año <sup>-2</sup> x1.000.000)	D (\$c.año <sup>-1</sup> x1.000)	Alcance
100%	2.302	1.331.102	1.154	0,0%	100%	5.770	1.736.262	1.318	-31,3%
90%	2.144	600.071	775	56,4%	90%	5.311	1.108.894	1.053	17,2%
80%	1.987	222.490	472	85,6%	80%	4.852	852.634	923	36,9%
70%	1.829	143.803	379	91,7%	70%	4.393	614.339	784	55,3%
60%	1.671	102.051	319	94,9%	60%	3.933	419.291	648	70,4%
50%	1.513	74.512	273	97,0%	50%	3.475	283.841	533	80,9%
40%	1.346	65.503	256	97,7%	40%	3.016	188.640	434	88,2%
30%	1.197	45.038	212	99,3%	30%	2.557	131.774	363	92,6%
20%	1.040	42.213	205	99,5%	20%	2.098	93.423	306	95,6%
10%	882	39.931	200	99,7%	10%	1.639	63.960	253	97,8%
0%	724	35.842	189	100,0%	0%	1.180	53.292	231	98,7%

Fuente: elaboración propia

En síntesis, se puede apreciar que las fronteras de ambos productores mejoran significativamente la renta entre periodos, mientras que se mantienen o involucionan cuando el atributo evaluado es el riesgo económico.

Si tomamos como referencia el alcance real de ambos atributos en los dos periodos (Gráfico V-5), se observa una estrategia diferente entre productores, ya que el productor 2 mantiene estrategias que permiten alcanzar valores más cercanos al mínimo riesgo y en ambos periodos se ubica en una situación con alcance real mayor al 80% del mínimo riesgo, aún a expensas de resignar posibilidades de mejora en el MBG, mientras que el productor 1, que especializó su sistema a agricultura, tiene menores posibilidades de alcanzar riesgos mínimos de la magnitud del periodo 1 y en el planteo real aumentó en mayor medida el riesgo económico para alcanzar su mayor aumento en MBG.



**Gráfico V-5: Fronteras de eficiencia MBG-RE en valores normalizados tomando como referencia máxima y mínima al periodo 1 (líneas). Ubicación de los productores en relación a las fronteras (puntos).**

Nota: El recuadro indica el cambio en MBG y RE en términos absolutos y la flecha la dirección de cambio de los atributos

Fuente: Elaboración propia

Sintetizando, si bien las estrategias y la ubicación de los productores fueron variables en relación a este par de atributos económicos, los mayores cambios en las fronteras entre los periodos se encuentran en la dimensión de la renta, que evolucionó en un sentido positivo para ambos productores. En relación al riesgo económico, el productor 2 mantiene en el periodo 2 un abanico de alternativas que le permiten diferente grado de alcance en el objetivo de minimizar el RE y en ambos periodos toma decisiones que lo ubican con resultados muy estables, mientras que el productor 1 ha especializado su sistema de producción y orientado su resultado principalmente hacia la maximización de renta, aun cuando esto implica una alta variabilidad del resultado económico.

### Uso de la tierra que selecciona el modelo.

Cuando se pide al modelo una reducción en el riesgo a expensas de resignaciones crecientes de MBG ocurren algunas estrategias comunes en ambos

productores para los dos periodos y otras estrategias específicas en cada uno (Gráfico V-6).

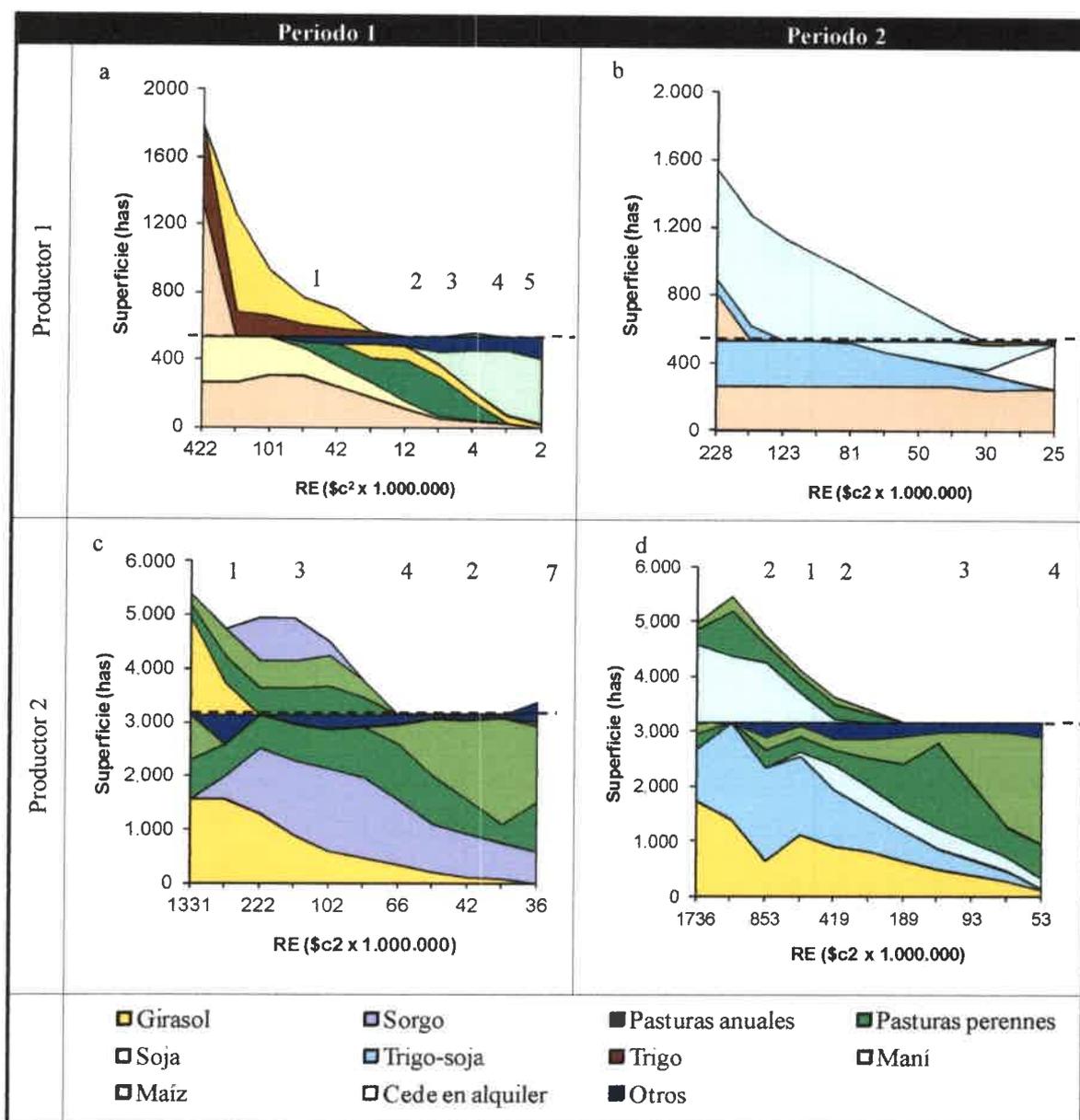
Cuando no se tiene en cuenta el riesgo, el modelo sugiere al productor 1 para ambos periodos (Gráfico V-6 a y b) tomar en alquiler una superficie del orden de tres veces la propia. Si el riesgo comienza a ser un atributo de relevancia, el modelo propone una reducción de la superficie alquilada, lo cual resalta la variabilidad del resultado económico asociado a la tenencia de la tierra en alquiler y nuevamente se corrobora que las actividades de mayor riesgo se asocian a aquellas de mayor demanda de capital de trabajo<sup>26</sup>.

Asimismo, en el periodo 1 se observa un grado de diversificación y proporción de superficie destinada a pasturas creciente mientras mayor es la relevancia que se le da al atributo RE (desplazamiento a la derecha dentro del gráfico). En contraste, en el periodo 2 este proceso no ocurre puesto que el productor optó por especializar su sistema de producción y no tiene dentro de sus posibilidades un planteo de alta diversificación de cultivos o actividades (la ganadería, así como numerosos cultivos agrícolas no son opciones tenidas en cuenta en el segundo periodo para este productor).

En el productor 2, la relación entre el uso de la tierra y el par de atributos MBG-RE sigue el mismo patrón que en el productor 1. La reducción de la superficie tomada en alquiler, el aumento de diversificación de cultivos y actividades y la mayor proporción de superficie destinada a ganadería aparecen también como las pautas salientes de los esquemas donde se aumenta la relevancia del atributo RE. En este productor, los tres procesos aparecen en los dos periodos, ya que no se redujeron tajantemente las actividades posibles como en el productor 1.

---

<sup>26</sup>: Para el productor 1, a modo de ejemplo, los adelantos de alquiler constituyen un 33-55% del capital de trabajo para los cultivos de maíz y soja respectivamente



**Gráfico V-6: Usos de la tierra que selecciona el modelo para distintos alcances de los atributos MBG y RE.**

Nota: La línea de puntos divide, hacia abajo, la superficie propia y hacia arriba, la superficie alquilada. La serie "otros" incluye aquellos rubros de producción que no superan 100 ha en todas las combinaciones. El valor ubicado por encima de las series gráficas, indica la cantidad de rubros de producción que incluye esta serie.

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, los planteos productivos donde se privilegia el MBG como atributo de mayor relevancia en la decisión de uso de la tierra tienden a usarla de forma más especializada (agricultura en este caso) y a incorporar pocos rubros de producción (variables de acuerdo al productor y al periodo). Además toman una alta cantidad de tierra en alquiler, de acuerdo a su disponibilidad de capital (equipos de siembra) y mano de obra. Por el contrario, la consideración del atributo RE en el análisis, sugiere

sistemas de producción más diversos en los rubros de producción, con creciente incorporación de ganadería y menor superficie tomada en alquiler.

Consecuentemente, las rotaciones que incorporan pasturas perennes para ganadería están asociadas a menor riesgo económico, mientras que las rotaciones de cultivos agrícolas son seleccionadas por el modelo cuando el productor asume más riesgo en búsqueda de la máxima renta.

Teniendo en cuenta esta tendencia en relación a este par de atributos, es posible pensar que la reducción en las alternativas de uso de la tierra y rubros de producción para el productor 1 en el periodo 2 obedece a un aumento en la consideración del MB como atributo de relevancia en la toma de decisión y la no inclusión del riesgo como atributo tenido en cuenta para decidir cómo asignar la tierra a distintos usos y rubros.

## **V.6. Discusión**

### **La rentabilidad y la conservación de suelo**

La relación entre el resultado económico y la conservación del suelo para las situaciones analizadas es variable de acuerdo al periodo considerado. Los sistemas del periodo 1, con sistema de labranza reducida y niveles menores de producción de los cultivos agrícolas, mostraban conflicto entre el logro de la máxima renta y niveles aceptables de pérdida de suelo por erosión. Sin embargo, para este par de atributos, se podía reducir a la mitad la erosión de suelo, con resignaciones del orden del 70-80% del máximo resultado económico. Este resultado concuerda con trabajos previos que indican que la mejora en la conservación de suelo puede lograrse con baja resignación económica (de Prada et al., 2008; Lu y van Ittersum, 2004; Meyer-Aurich, 2005; Van Leeuwen et al., 2001).

Por otro lado, ambos sistemas de producción prácticamente carecen de conflicto entre los atributos de maximización de renta y conservación de suelo en campo propio en el periodo 2. Este cambio fue documentado para los niveles de erosión en la región pampeana (Viglizzo et al., 2010) y por los resultados de este estudio serían independientes del nivel de especialización del sistema de producción ya que ocurrieron tanto en el sistema que especializó su producción hacia agricultura permanente como en

aquel que permaneció bajo un planteo mixto. La reducción de las labranzas, el aumento de los rendimientos y la consecuente mayor cobertura del suelo son los factores que se destacan como causa de esta mejora. Estas relaciones son ampliamente reconocidas en la literatura (Satorre, 2003; Viglizzo et al., 2010). Sin embargo, hay que destacar que la extrapolación a escalas regionales de este resultado puede resultar riesgosa, ya que en este estudio se considera solo el impacto ambiental sobre la superficie propia. Más aún, Cisneros et al., (2004) en una evaluación de escala regional encontraron que la reducción de la erosión de suelo producto del cambio en los sistemas de labranza no alcanzaba para compensar el aumento de los procesos erosivos ocasionado por el cambio de uso de la tierra, con tendencia hacia una mayor superficie dedicada a cultivos oleaginosos.

Además el modelo muestra que, para ambas situaciones en los dos periodos, la mejora en el atributo de conservación de suelo se logra con rotaciones con mayor proporción de gramíneas y pasturas perennes en el esquema, lo cual concuerda con la literatura específica (Casas, 2006; Dogliotti et al., 2004; Viglizzo et al., 2001).

En este sentido, cobra importancia la asignación variable de restricciones de rotación entre tierra propia y alquilada, que determina que sobre el campo alquilado se realice preferentemente cultivos oleaginosos de mayor margen, por lo que el conflicto entre conservación y margen bruto se expresa en mayor medida sobre este tipo de tenencia de la tierra para los casos evaluados.

### **La rentabilidad y la dependencia de energía.**

Las alternativas de uso de la tierra como la ganadería y los rubros de producción agrícolas del periodo 1 eran menos dependientes de energía externa, enmarcándose dentro de la llamada agricultura de baja utilización de insumos externos (Viglizzo y Roberto, 1998; Viglizzo et al., 2001). Asimismo, cabe interpretar que el aumento en el resultado económico se ha generado a expensas del uso de energía externa, resultado que concuerda con la evolución de los sistemas de producción agropecuarios en Argentina descrita por Viglizzo et al., (2010). Este proceso alerta sobre las posibles consecuencias en la estabilidad ecológica del sistema productivo ante cambios en su entorno (Viglizzo y Roberto, 1998) y sobre el impacto de escenarios de escasez de

fuentes energéticas no renovables o la crisis del petróleo (Hall et al., 1986; Manning, 2004).

Este mayor uso de insumos externos puede ser interpretado como necesario para mantener e incrementar la productividad ante la menor diversidad y estabilidad ecológica del sistema de producción, tal cual lo planteado por Viglizzo et. al., (1998; 2001). Asimismo, es reconocido que la "diversidad planificada" de los sistemas de cultivo se ha vuelto crítica, no solo en términos de producción sino porque es un importante determinante de la biodiversidad total (Matson et al., 1997).

Para ambos modelos, la incorporación de pasturas perennes de leguminosas es una estrategia seleccionada cuando se busca reducir la dependencia de energía externa, ya que *per se* utilizan menor cantidad de insumos. Asimismo, el posible efecto que pueden ocasionar las leguminosas reduciendo la necesidad de incorporar fertilizantes en cultivos posteriores no es explorado en este estudio y es calificado en la literatura como muy importante (Franzluebbers y Francis, 1995; Goldstein, 1975).

### **La rentabilidad y el riesgo económico**

Aquellos sistemas de producción que mantienen un grado mayor de diversificación de actividades y rubros de producción tienen la posibilidad de alcanzar niveles más bajos de variabilidad de su resultado económico, lo cual es consistente con la literatura económica (Garrido Colmenero, 2002; Huirne et al., 2007; Portillo et al., 2005). El mayor nivel de conflicto entre la obtención de la máxima renta y la minimización del riesgo económico decrece de forma muy importante cuando se relaja la demanda de máxima renta, lo cual coincide con lo hallado por deVoil et al., (2006) modelando sistemas de producción agropecuarios australianos.

Específicamente para las empresas agropecuarias, el mayor grado de exposición económica de los productores en sistemas de producción en agricultura permanente respecto a sistemas mixtos está reconocido (Bustamante, 2006) y la literatura nacional rescata que las nuevas formas de organización de la producción agropecuaria en la región pampeana conllevan un cambio en la distribución de los riesgos en la cadena (Bisang, 2008), sin embargo es poco tenido en cuenta el mayor grado de exposición económica al que se somete el productor cuando realiza agricultura en tierra alquilada.

## **V.7. Resumen e implicancias de los hallazgos. Líneas a explorar**

Para los casos estudiados, la relación de conflicto entre la maximización de la renta y la conservación del suelo ha decrecido de forma muy importante en el tiempo, mientras que el grado de compromiso en maximización de renta y dependencia energética ha seguido el camino inverso, incrementándose fuertemente entre los dos periodos de análisis, sobre todo en el sistema que mejor evolución ha tenido en la relación renta-conservación de suelo. En relación al conflicto entre renta y riesgo económico, éste ha evolucionado de forma diferencial entre los productores agropecuarios en función del grado de especialización de cada uno. Aquel productor que ha especializado en mayor medida su sistema de producción no tiene posibilidad de alcanzar mínimos riesgos económicos similares al periodo 1.

Un alto nivel de especialización de cultivos ha permitido una mejora sustancial en los atributos relacionados a la renta y a la conservación de suelo; sin embargo, la demanda de energía externa, así como la variabilidad de los resultados se ha incrementado de forma considerable y serán temas a tener en cuenta por este tipo de sistemas.

En relación a la demanda de energía externa, la definición y ajuste de las funciones de producción de los cultivos y pasturas es una línea de trabajo que podría permitir mejorar la eficiencia de utilización de los insumos energéticos, la incorporación de atributos como el balance energético de las diferentes variables de decisión también serían importantes para determinar las mejores formas de asignar la energía externa en los sistemas de producción. Asimismo el aprovechamiento de los desechos de sistemas de producción animal como fuente orgánica en el abono del suelo puede ser otra línea de trabajo promisoria.

En lo que hace al riesgo económico, las líneas de trabajo a futuro son de alta relevancia y muy amplias, desde la evaluación de diversas estrategias de diversificación de los sistemas de producción (incorporación de nuevas actividades al conjunto de decisión, incorporación de nuevas áreas de producción para reducir la variabilidad de los resultados, etc), estrategias de mitigación o transferencia de riesgos climáticos y de

mercado, asociación o encadenamiento de los productores para el desarrollo de nuevas actividades, etc.

En todos los casos, la modelación matemática multicriterio en general y la programación por restricciones en particular, constituyen una aproximación metodológica de gran potencial para incorporar nuevas alternativas de uso y manejo de tierras al análisis de sistemas de producción agropecuarios y evaluar sus complejas implicancias sobre los resultados económicos y ambientales de los sistemas.

## **VI. APLICACIÓN DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN POR METAS PONDERADAS INTERACTIVO.**

### **VI.1. Introducción y antecedentes**

Las metodologías para integrar numerosos atributos en un análisis multicriterio son variadas. Hasta este momento, dentro del modelo matemático general definido en el capítulo III (Schniederjans, 1994), en el presente trabajo se han utilizado optimizaciones individuales de los atributos y presentado los resultados de los demás en términos de porcentaje de alcance en las matrices de pago (Capítulo IV) utilizando la metodología propuesta por Sumpsi et al., (1996) y se ha aplicado la programación por restricciones para comparar el conflicto entre pares de atributos, definiendo a uno de ellos como una restricción y realizando un conjunto de optimizaciones del restante para valores variables de esa restricción, según la propuesta metodológica de Lu y van Ittersum, (2004).

La definición de un atributo como restricción tiene la limitante de que permite las desviaciones de una restricción en un solo sentido y que la optimización de un objetivo es secundaria respecto a la búsqueda de una solución factible en la que sean satisfechas todas las restricciones del modelo (Schniederjans, 1994).

En este sentido, la programación por metas permite soluciones que busquen la satisfacción de un conjunto de metas ya que los atributos se integran de forma simultánea en una única función objetivo que minimiza las desviaciones respecto a metas previamente establecidas por el TDA para cada objetivo (Sumpsi et al., 1996). También se puede trabajar con distintas ponderaciones para los atributos de acuerdo a la importancia relativa de cada uno, que surja de la interacción con el TDA.

En este sentido, Ballesteros y Cohen (1998) indican que normalmente los atributos mayormente ponderados por los tomadores de decisión empresariales tienen que ver con aquellos relacionados con aspectos económicos, principalmente los que reflejan la renta y alguna medida de riesgo económico. Asimismo, advierten que aunque las metas dejen satisfecho al empresario, no constituyen necesariamente soluciones óptimas según Pareto ya que, en principio, podrían lograrse resultados superiores para alguna de ellas sin empeorar las restantes.

Teniendo en cuenta que la identificación de los objetivos e importancia relativa otorgada a los mismos por parte de los productores han sido normalmente procesos poco justificados empíricamente, Sumpsi et al., (1996) proponen como alternativas la interacción con los productores o bien utilizar el propio el comportamiento actual que siguen como un indicador de sus objetivos y preferencias.

El objetivo del presente capítulo es determinar, mediante la interacción con los productores, las ponderaciones y/o metas para los atributos bajo estudio y complementariamente definir las ponderaciones realmente otorgadas por los mismos a cada atributo, según el uso seleccionado de la tierra para el modelo, integrando las alternativas de producción de los dos periodos.

En el apartado VI.2 se presenta el modelo de programación por metas ponderadas y la metodología de interacción con los productores agropecuarios para parametrizar los modelos. En la sección VI.3 se muestran las matrices de pago para los modelos integrando las variables de decisión de los dos periodos

## VI.2. Método.

### a) Programación por metas ponderadas

En un modelo de programación matemática por metas se integran las funciones objetivo  $f_i(x)$  con niveles de aspiración para los objetivos ( $h_i$ ), conformando las metas. La función de logro integra las desviaciones indeseables de las metas ( $d_i^+$ ;  $d_i^-$ ) teniendo en cuenta que seguramente no puedan ser alcanzados en simultáneo, todas las metas y la minimización de esta función, afectada por la preferencia otorgada a los atributos por los productores ( $w_i$ ) permite acercar el valor de las metas al nivel de aspiración.

La preferencia de cada objetivo se puede aproximar de dos formas diferentes: a) asignación de pesos relativos o ponderaciones y b) ranqueo jerárquico. Para nuestro caso, utilizaremos un modelo de programación por metas ponderadas (a), en el que cada objetivo recibe un peso relativo dentro del modelo de programación por metas. El modelo utilizado es el propuesto por Charnes y Cooper (1961, (Schniederjans, 1994)) con la modificación para normalizar cada atributo por la distancia entre el máximo y mínimo valor de la matriz de pago ( $k_i$ ) propuesta por Ballesteros y Romero, (1998):

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^6 w_i \left( \frac{d_i^+ + d_i^-}{k_i} \right) \quad (\text{Ecuación VI.1})$$

Sujeto a:

6 metas:

$$\sum_{j=1}^6 c_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = h_i \quad (\text{Ecuación VI.2})$$

Restricciones del modelo:

$$\sum_{j=7}^q a_{ij} x_j \leq b_i \quad (\text{Ecuación VI.3})$$

Condición de no negatividad:

$$d_i^+, d_i^-, x_j \geq 0 \quad (\text{Ecuación VI.4})$$

Donde  $w_i$  son las ponderaciones de cada atributo,  $d_i^+$  es la variable de desviación positiva y  $d_i^-$  es la variable de desviación negativa, ambas expresadas en términos absolutos (nótese que si el objetivo es maximizar, el atributo tendrá una variable de desviación negativa indeseable, mientras que si el objetivo es minimizar, el atributo tendrá una variable de desviación positiva indeseable),  $k_i$  es la distancia entre los valores más altos y bajos de los atributos dentro de la matriz de pago y se utiliza como denominador para normalizar y homogeneizar la unidad de medida;  $h_i$  representa el nivel de aspiración de cada atributo.

## **b) Interacción con los tomadores de decisión. Definición de parámetros del modelo**

La definición de metas y ponderaciones para cada uno de los productores se realizó en sendas reuniones en las que se presentaron los resultados parciales de los modelos de programación lineal y matrices de pago (Capítulo IV) y las fronteras de eficiencia obtenidas entre pares de atributos seleccionados (Capítulo V).

Seguidamente se presentaron los elementos de un modelo de programación por metas ponderadas mediante un ejemplo sencillo y luego se hicieron preguntas específicas para definir los parámetros del modelo de PPM ponderada a partir de corridas con el modelo real de cada productor:

1. De los seis atributos definidos ¿Cuáles serían para usted los más importantes para definir el uso de la tierra?
2. Considerando los resultados alcanzados por el modelo y sus expectativas empresariales, ¿Qué niveles de aspiración puede definir para los atributos de su interés?
3. ¿Podría definir ponderaciones o importancias relativas para los atributos?

A través de la información recabada en estas reuniones se parametrizó el modelo en relación a metas y/o ponderaciones y se extrajeron los resultados de la relación entre atributos de interés y los cambios en el uso del suelo y rotaciones necesarios para alcanzarlos.

## **c) Importancia otorgada por los productores a los atributos en función del uso real de la tierra.**

Mediante el uso del alcance de las metas para la situación de los productores en el segundo periodo y la matriz de pago, la ponderación otorgada a los atributos fue calculada con el modelo propuesto por Sumpsi et al.,(1996):

$$\min \sum_{i=1}^6 \left[ \frac{1}{k_i} \right] (d_i^+ + d_i^-) \quad (\text{Ecuación VI.5})$$

$$\text{Sujeto a} \quad \sum_{k=1}^6 g_{ik} w_i + d_i^+ - d_i^- = f_i \quad (\text{Ecuación VI.6})$$

$$\sum_{i=1}^6 w_i = 1 \quad (\text{Ecuación VI.7})$$

Donde  $w_i$  corresponde a las ponderaciones a ser estimadas;  $1/k_i$  se utilizan como constantes para normalizar y homogeneizar de la unidad de medida;  $d_i^+$  y  $d_i^-$  corresponden a las desviaciones positivas y negativas respecto al nivel actual de alcance de los atributos ( $f_i$ ),  $g_{ik}$  representan los valores de la matriz de pago,  $i$  indica los seis objetivos.

### **VI.3. Fronteras de los modelos integrados**

En una primera etapa, se definieron las fronteras de cada atributo a través de la matriz de pago, utilizando las actividades comprendidas en ambos periodos, es decir, suponiendo que los TDA consideraban la posibilidad de realizar las actividades del periodo 1 y 2, optimizando individualmente cada atributo (i.e. asumiendo ponderaciones totales para cada atributo por separado) y construyendo la matriz de pago, tal cual se utilizó en el capítulo IV. La utilización de las alternativas se decidió para ampliar la cantidad de variables de decisión sobre las que trabaja el modelo, teniendo en cuenta que en este capítulo no hay objetivos comparativos entre periodos.

#### **Productor 1**

##### *Matriz de pago para el modelo integrado*

La relación de conflicto entre atributos se mantiene similar a la encontrada en el capítulo IV cuando se integra el modelo para los dos periodos (Tabla VI-1). El máximo MBG se logra a expensas de máximos CT, RE y DE, mientras que se alcanzan buenos valores de PS y BMOS (92% del mínimo y 74% del máximo respectivamente). Por otro lado, el alcance de un sistema de producción de mínimo CT implica RE y DE casi mínimos, a expensas de resignar casi la totalidad del MBG, y de los atributos PS y BMOS.

Tabla VI-1: Matriz de pago, modelo integrado de los dos periodos. Productor 1.

Objetivo	MBG \$.año <sup>-1</sup> x1.000	CT \$.año <sup>-1</sup> x1.000	RE \$.año <sup>-2</sup> x1.000.000	PS Mg.año <sup>-1</sup>	BMOS Mg.año <sup>-1</sup>	DE MJ.año <sup>-1</sup> x1.000
Maximizar MBG	<b>1.740</b> (100%)	2.857 (2%)	563.991 (0%)	574 (92%)	1.016 (74%)	7.917 (6%)
Minimizar CT	80 (1%)	<b>253</b> (100%)	3.103 (99,8%)	4.468 (0%)	-741 (1%)	1.171 (96%)
Minimizar RE	55 (0%)	281 (99%)	<b>2.148</b> (100%)	3.828 (15%)	-760 (0%)	1.365 (94%)
Minimizar PS	604 (33%)	629 (86%)	23.923 (96%)	<b>226</b> (100%)	57 (34%)	941 (99%)
Maximizar BMOS	1647 (94%)	2.907 (0%)	550.471 (2%)	226 (100%)	<b>1.636</b> (100%)	8.379 (0%)
Minimizar DE	122 (4%)	511 (90%)	13.629 (98%)	1.809 (63%)	-231 (22%)	<b>894</b> (100%)

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

### Usos del suelo y rotaciones

Cuando se pide al modelo que determine soluciones optimizando individualmente los atributos, las estrategias de uso de la tierra que selecciona y la cantidad de superficie que toma en alquiler son variables (Gráfico VI-1). Cuando el objetivo es maximizar el MBG, el modelo selecciona mitad de maíz y mitad de trigo-soja, configurando una rotación maíz, trigo-soja para campo propio y selecciona realizar 650 ha de soja, 444 ha de maní, 278 ha de maíz y 85 ha de trigo-soja en campo alquilado. Claramente, la ausencia de restricciones de rotación en campo alquilado determina que el modelo seleccione dedicar 80% de la superficie para cultivos oleaginosos. Mientras tanto, tres atributos alcanzan su mejor valor mediante el uso de pasturas (CT, PS y DE). Esto implica que dentro de las alternativas puramente agrícolas que hoy incluye el productor en su toma de decisión, no tiene soluciones superadoras para estos atributos respecto a las pasturas, que solo fueron incluidas en el modelo para el periodo 1.

Asimismo, la combinación de actividades ganaderas con superficie destinada a agricultura en una relación porcentual 72:28 genera los menores valores de riesgo. Dentro de los cultivos agrícolas que selecciona el modelo para minimizar el riesgo, también se destaca la alta diversidad de los mismos (la categoría otros incluye 15 ha de soja de primera, 26 ha de trigo, 21 ha de girasol y 83 ha de sorgo). Por último, la

maximización de BMOS implica una máxima proporción de gramíneas dentro de campo propio y utilización de la tierra para soja, trigo-soja y maní en campo alquilado.

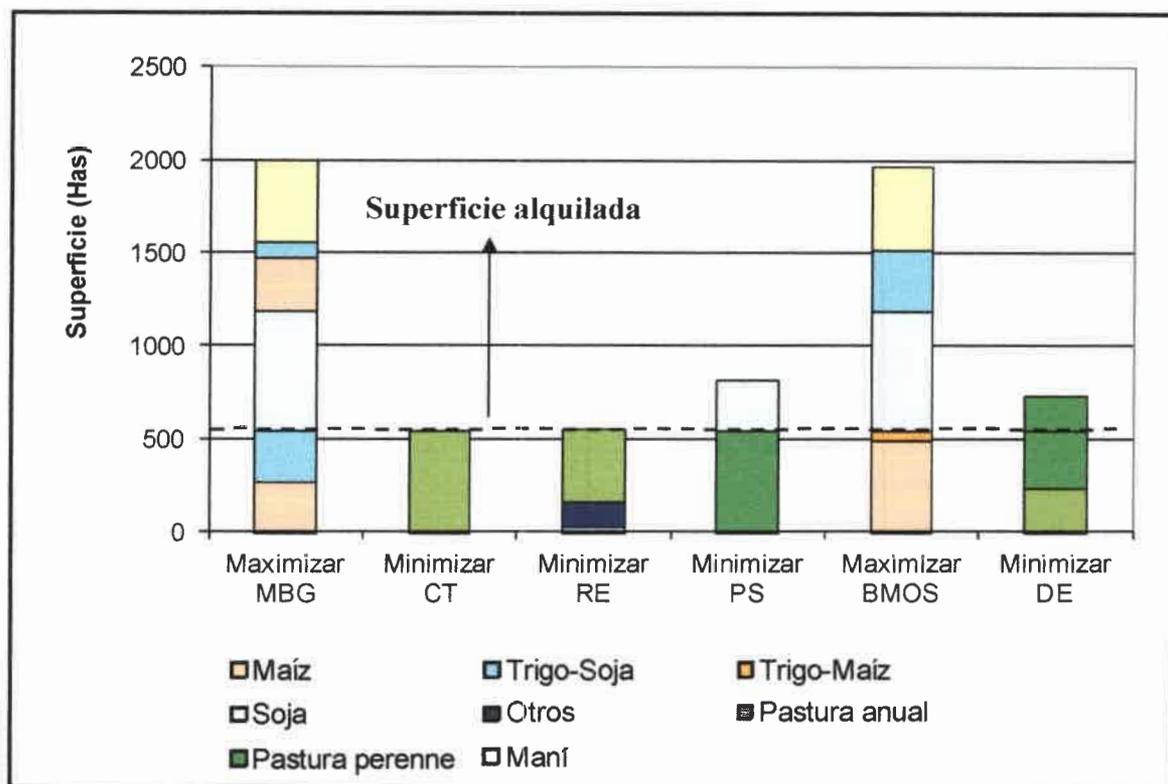


Gráfico VI-1: Usos de la tierra seleccionados por el modelo para las optimizaciones individuales de atributos. Productor 1. Modelo integrado.

Fuente: elaboración propia

## Productor 2

### Matriz de pago para el modelo integrado

La construcción de la matriz de pago integrada para este productor (Tabla VI-2) muestra la misma tendencia en el sentido de los conflictos que cuando las matrices se construyeron individualmente (Capítulo V). El mejor MBG es muy cercano al máximo MBG del periodo 2 y entra en importante conflicto con la minimización de CT y de DE (se alcanzan los peores valores) y con el RE (se alcanza solo el 33% de este objetivo). Luego, el mínimo CT es cercano al mínimo alcanzado para el periodo 1, con importante conflicto con MBG, PS y BMOS, mientras que se puede alcanzar el mínimo CT y a la vez un 97% del mínimo RE y un 98% de la mínima DE.

El caso del riesgo es de destacar, puesto que al aumentar la cantidad de alternativas sobre las que selecciona el modelo, el mínimo RE para el modelo

integrando los dos periodos es menor que aquél que se obtenía en cada período de forma individual, lo cual resalta el rol de la diversidad de opciones para mejorar este atributo.

**Tabla VI-2: Matriz de pago, modelo integrado de los dos periodos. Productor 2.**

<b>Objetivo</b>	<b>MBG</b> \$.año <sup>-1</sup> x1.000	<b>CT</b> \$.año <sup>-1</sup> x1.000	<b>RE</b> \$.año <sup>-2</sup> x1.000.000	<b>PS</b> Mg.año <sup>-1</sup>	<b>BMOS</b> Mg.año <sup>-1</sup>	<b>DE</b> MJ.año <sup>-1</sup> x1.000
Maximizar MBG	<b>5.832</b> (100%)	5.089 (0%)	1.435.764 (33%)	8.631 (64%)	- 1.846 (45%)	30.415 (0%)
Minimizar CT	1.379 (11%)	<b>667</b> (100%)	78.794 (97)	21.748 (0%)	-4.717 (18%)	4.520 (98%)
Minimizar RE	855 (0%)	1.130 (90%)	<b>21.127</b> (100%)	20.846 (4%)	-6.562 (0%)	10.130 (77%)
Minimizar PS	1.944 (23%)	1.224 (87%)	224.491 (90%)	<b>1.355</b> (100%)	2.028 (82%)	5.010 (96%)
Maximizar BMOS	2.212 (27%)	3.533 (35%)	2.131.879 (0%)	2.876 (93%)	<b>3.879</b> (100%)	25.974 (17%)
Minimizar DE	1.827 (20%)	1.584 (80%)	257.269 (89%)	15.768 (29%)	-2.522 (39%)	<b>4.080</b> (100%)

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

### *Usos del suelo y rotaciones*

El planteo de uso de la tierra que selecciona el modelo, la proporción de pasturas respecto a cultivos agrícolas y la cantidad de hectáreas que se alquilan son las principales variables de ajuste en función de los objetivos que se optimicen (Gráfico VI-2). Cuando el objetivo es maximizar MBG, la proporción de agricultura en campo propio es máxima, alcanzando el 92% de la superficie. Esto implica que las pasturas entran en la rotación en uno de cada 10 años aproximadamente. Asimismo, para cumplir con la restricción de ganadería, el modelo selecciona alquilar 1.086 ha para realizar pasturas y además selecciona aproximadamente 2.000 ha para agricultura con el cultivo de soja (la relación entre superficie propia y alquilada es de 1:1).

Existen tres atributos en cuya optimización la proporción de pasturas dentro de la rotación supera el 80%. Cuando se pretende optimizar CT, DE o PS, los cultivos agrícolas entran en la rotación 1 de cada cinco años o menos y la superficie es destinada en su mayor parte a pasturas.

Asimismo, cuando se pretende alcanzar el mínimo RE, el modelo selecciona un uso de la tierra equilibrado entre agricultura y ganadería y una diversa cartera de productos (incluye 7 rubros dentro de agricultura).

Por último, la maximización de BMOS implica una rotación equilibrada entre pasturas y agricultura con dominancia de gramíneas (trigo-maíz).

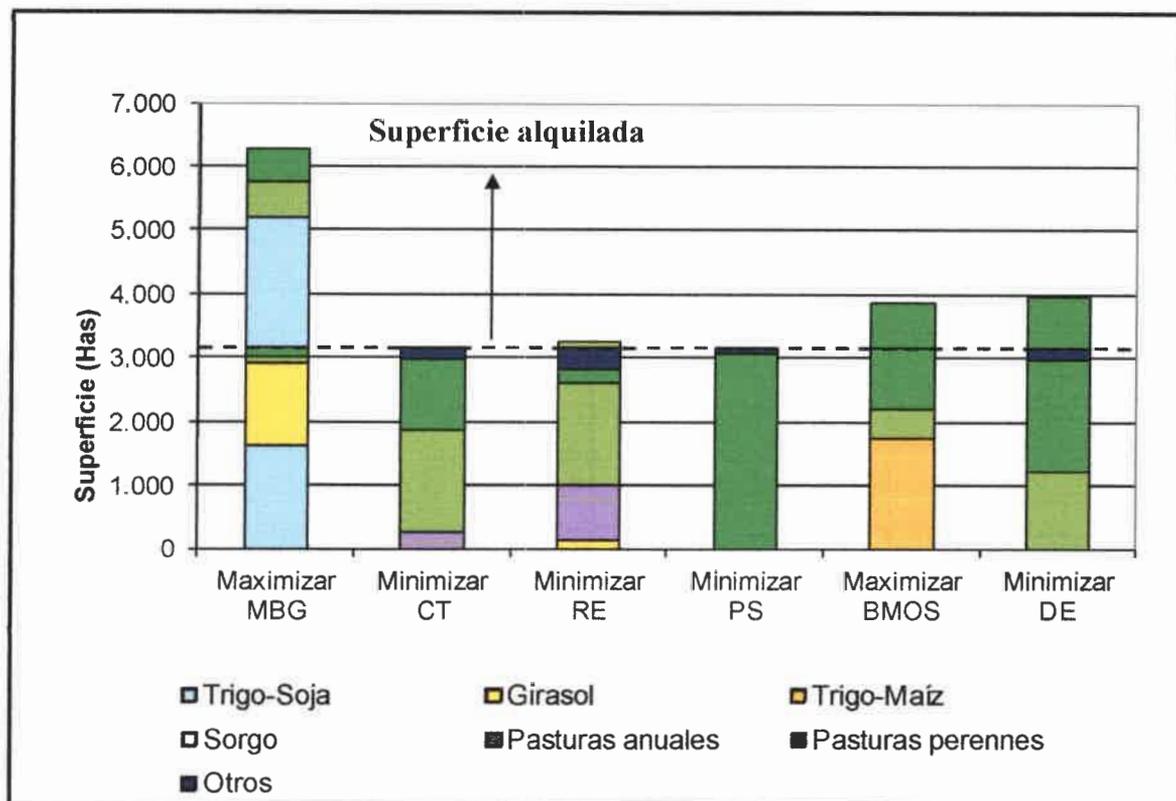


Gráfico VI-2: Usos de la tierra seleccionados por el modelo para las optimizaciones individuales de atributos. Productor 2. Modelo integrado.

Fuente: elaboración propia

## **VI.4. Parametrización del modelo de PPM con el uso de ponderaciones y metas definidos por los TDA**

### **Productor 1**

En la interacción con el productor, éste se manifestó satisfecho con el alcance de atributos como PS y BMOS aunque reconoce que no fueron objetivos buscados explícitamente, mostró poca atención en la minimización de DE e indicó que los atributos que mejor representan su decisiones son MBG y CT. El argumento que presenta es que le interesa conocer su beneficio en relación al capital de trabajo como una medida de renta y además porque utiliza CT del ciclo de producción como un indicador de riesgo del sistema de producción. Por los resultados de las matrices de pagos, se puede considerar que la percepción del riesgo que tiene el productor, aunque

difiere del atributo modelado, es bastante consistente dado que RE y CT se mueven en el mismo sentido y están en conflicto con el MB.

Por ello, se plantea ponderar de forma diferencial las metas de MBG y CT para obtener la curva de transformación entre los criterios seleccionados por el productor como salida de utilidad para el TDA y para explorar el conflicto y la relación con los demás atributos económicos y ambientales. Con esta aproximación, el resto de los atributos (RE, BMOS, PS y DE) son modelados con una ponderación de 0.

### *Relación entre el MBG y el capital de trabajo necesario para un ciclo de producción*

La relación entre MBG y CT es altamente conflictiva. El grado de alcance de cada uno de los atributos es mínimo cuando el otro es optimizado. Esto pone de manifiesto la demanda de capital para llevar adelante un ciclo de producción de máximo resultado económico. Sin embargo, mediante un cambio en las ponderaciones a los atributos y cuando ambos entran en consideración dentro del modelo, podemos ver que se pueden alcanzar reducciones significativas del capital de trabajo a expensas de pérdidas en el resultado económico menos que proporcionales (Tabla VI-3). Así, por ejemplo se puede alcanzar el 94,1% del máximo MBG, utilizando un 36,9% menos de CT, o reduciendo a menos de la mitad el CT podemos aún alcanzar un 87,2% del MBG máximo.

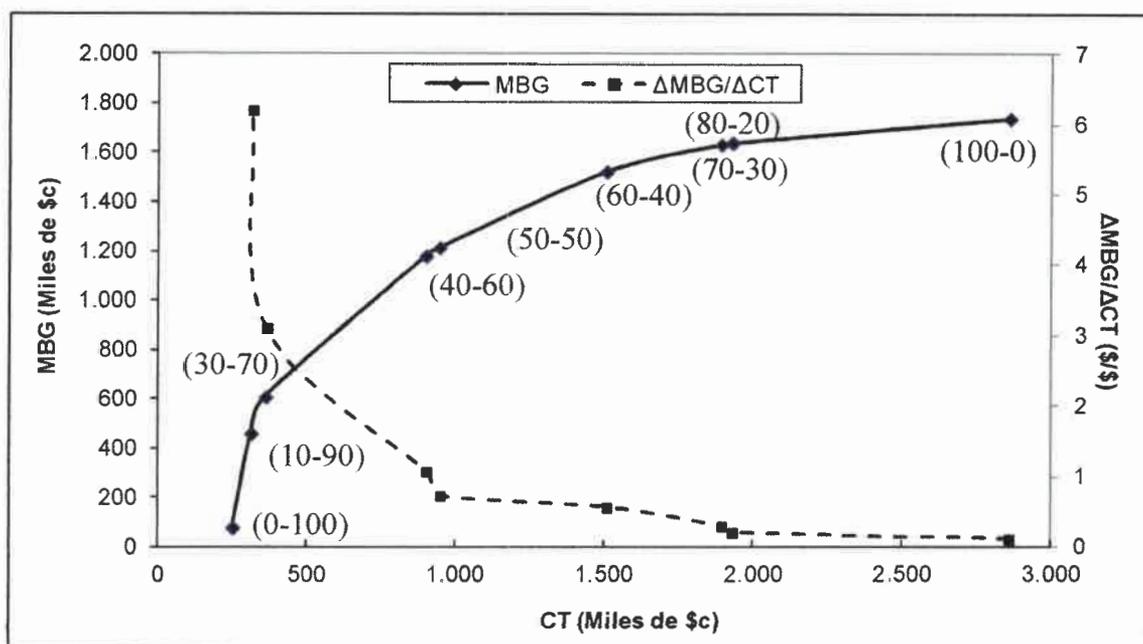
**Tabla VI-3: Relación entre MBG-CT. Modelo integrado productor 1**

Ponderaciones MBG-CT	MBG		CT	
	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	Alcance (%)	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	Alcance (%)
100-0	1.740	100,0	2.857	1,9
80-20	1.641	94,1	1.927	36,9
70-30	1.634	93,7	1.890	38,3
60-40	1.524	87,2	1.505	52,8
50-50	1.214	68,8	946	73,9
40-60	1.181	66,8	899	75,6
30-70	609	32,9	362	95,9
10-90	461	24,1	315	97,7
0-100	80	1,5	253	100,0

Gráficamente, podemos observar el beneficio marginal decreciente por cada aumento en la ponderación de MBG y por ende por cada incremento en el capital insumido en el ciclo de producción (Gráfico VI-3). Partiendo de la situación de mínimo CT y mínimo MBG, un aumento de la ponderación al criterio de MBG implica ganar

entre tres y seis pesos por cada peso de CT. Luego esta relación va cayendo y por último alcanza valores de 0,11, cuando pasamos de la situación de ponderación MBG-CT 80-20 a la situación de máximo MBG.

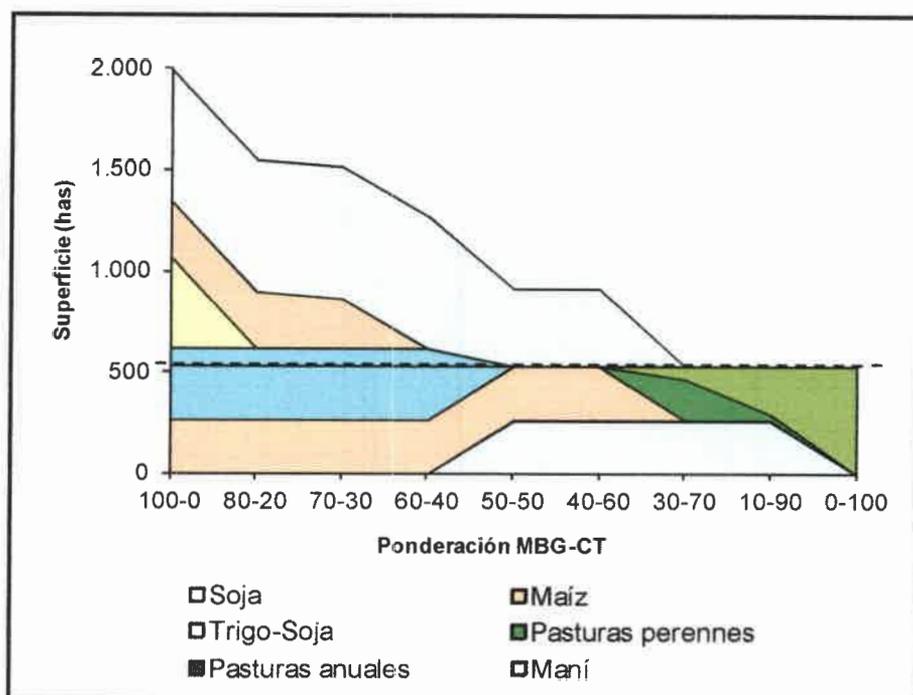
Este hallazgo señala la importancia de contar con el CT necesario para el desarrollo de un ciclo de producción y pone de manifiesto, de acuerdo a la posición de TD en relación a la disponibilidad de CT, cuánto podría pagar para aumentar el capital de trabajo dentro del ciclo de producción.



**Gráfico VI-3: Relación entre CT-MBG y  $\Delta MBG/\Delta CT$ . Productor 1.**

Nota: Entre paréntesis las ponderaciones MBG-CT. Fuente: elaboración propia

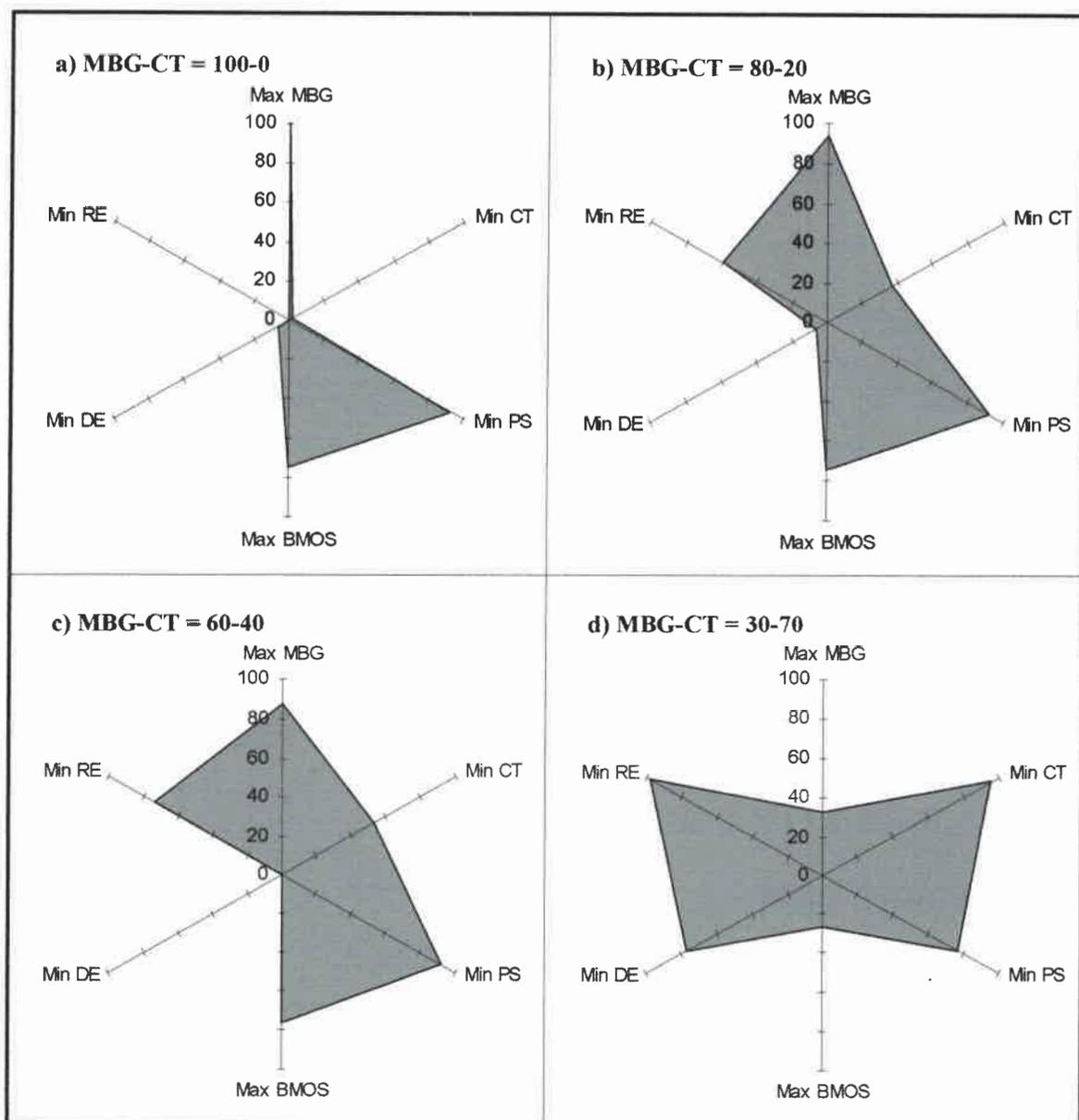
Estos cambios en los resultados de MBG y CT se materializan a partir de cambios en las asignaciones de tierra que realiza el modelo (Gráfico VI-4). Cuando se selecciona una ponderación total para MBG, el modelo selecciona mitad de maíz y mitad de trigo-soja para campo propio (por debajo de la línea punteada), mientras que utiliza 659 ha para soja, 444 ha para maní, 278 ha para maíz y 85 ha para trigo-soja en campo alquilado. Apenas comenzamos a ponderar CT (ponderación MBG-CT 80:20), el primer rubro que el modelo deja de seleccionar es el maní en campo alquilado, dado su alta necesidad de CT. En ponderaciones mayores de CT, reduce la superficie de agricultura por alquiler como variable de ajuste para recortar el CT y por último, cuando las ponderaciones de CT suben más allá del 50%, comienza a entrar soja de primera en lugar de trigo soja en campo propio y pasturas dentro de la rotación.



**Gráfico VI-4: Uso de la tierra de acuerdo a la relación de ponderación MBG-CT.**

Nota: La línea de puntos divide, hacia abajo, la superficie propia y hacia arriba, la superficie alquilada.  
Fuente: elaboración propia

Asimismo, el cambio de ponderaciones tiene efecto sobre el grado de alcance porcentual de los demás atributos (Gráfico VI-5). El propio TDA estimaba que una mayor ponderación del atributo CT, reduciría los riesgos del sistema de producción. Este hecho realmente queda verificado, teniendo en cuenta que cuando se maximiza el MBG, se hace a expensas de máximo CT, pero también de máximo RE y prácticamente la mayor dependencia de insumos externos (Gráfico VI-5.a). Luego, a medida que aumenta la ponderación otorgada por el TDA a la reducción del CT, pueden alcanzarse mejores valores de CT y a la vez una reducción del RE. Incluso con ponderaciones del orden del 20-40% para CT, pueden alcanzarse importantes mejoras en estos dos atributos, alcanzando un MBG por encima del 80% del máximo (Gráfico VI-5, b y c). Reducciones mayores en CT y consecuentemente del RE implican un sacrificio mucho más alto en MBG, aunque en este caso, también se reduce de forma importante la DE (Gráfico VI-5,d.)



**Gráfico VI-5: Grado de alcance para los distintos atributos ante ponderaciones variables en la relación MBG-CT: a) 100-0; b) 80-20; c) 50-50 y d) 10-90. Productor 1, modelo integrado.**

Fuente: elaboración propia

En resumen, la interacción con el productor 1 permitió determinar que los atributos más relevantes para él son MB y CT, este último utilizado como un indicador de riesgo económico. La cuantificación del conflicto entre pares de atributos de interés permite conocer hasta qué punto entran en conflicto e identificar cuál es la posición en la que se satisface el alcance de cada uno de los mismos.

## Productor 2

### *Etapa de interacción con el productor para definir ponderaciones y metas.*

En la etapa de interacción con el productor 2, surgieron algunas consideraciones respecto a las ponderaciones, metas o restricciones extra para los atributos. En un principio, el productor indicó que estaría dispuesto a resignar MBG respecto a su óptimo para reducir la exposición de capital en el ciclo de producción (CT). De esta forma, y por los resultados previos, también se podría reducir el RE. En relación a la PS y BMOS, el productor indica como restricción el manejo de estos atributos con niveles de tolerancia, por lo cual se agregarán dos restricciones, donde  $PS \leq 15.805 \text{ Mg.año}^{-1(27)}$  y  $BMOS \geq 0 \text{ Mg.año}^{-1}$ .

Los escenarios en los que se corrió el modelo son los siguientes:

1. Estableciendo como meta para cada atributo el óptimo del mismo (tomado de la matriz de pago, Tabla VI-2) y cambiando las ponderaciones entre MBG-CT
2. Utilizando como metas MBG de 3.100.000 \$<sub>c</sub> y CT de 3.100.000 \$<sub>c</sub>, valores definidos por el TDA y ponderaciones similares para estos atributos ( $w_1 = 0,5$  y  $w_2 = 0,5$ ).

### *Relación entre el MBG y el CT necesario para un ciclo de producción*

Mediante la aplicación de PPM ponderada, se obtiene la relación entre MBG y CT necesario para cumplimentar un ciclo de producción. En una primera instancia, puede observarse que aun cuando se agregaron al modelo dos restricciones en relación a los atributos PS y BMOS, se puede alcanzar el 98,5% del máximo MBG sin estas restricciones o un 92,4% del mínimo CT. Es decir que pueden respetarse los umbrales definidos para estos dos atributos y a la vez alcanzar valores cercanos a los óptimos de MBG o CT.

---

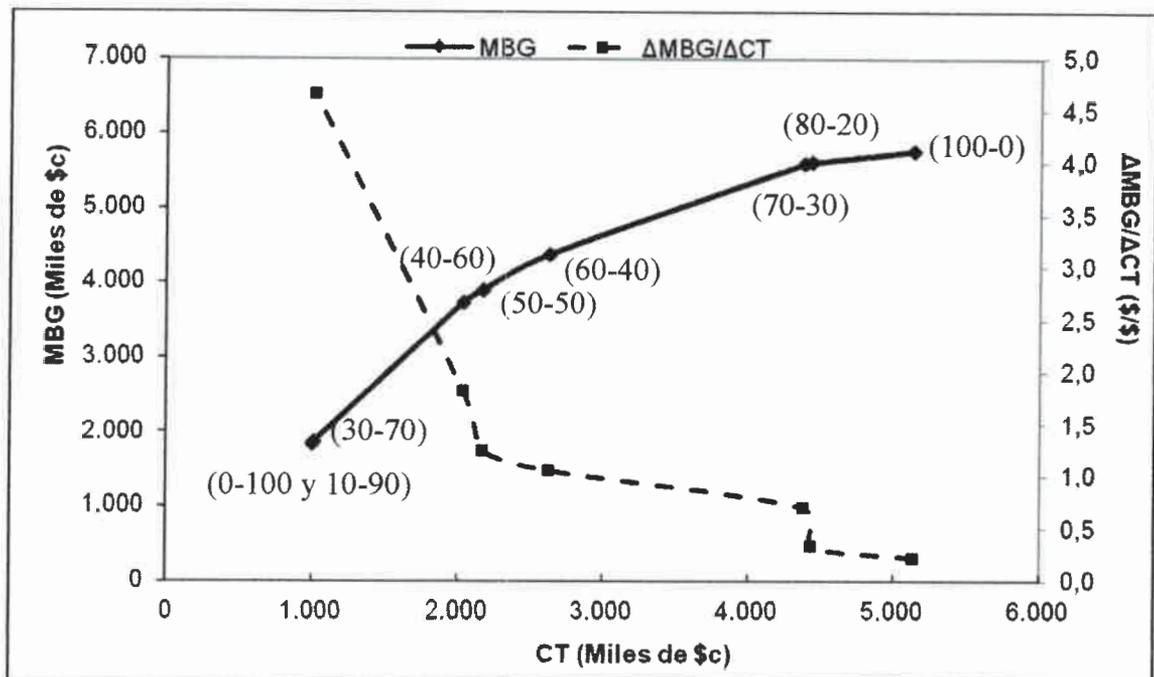
<sup>(27)</sup>: corresponde a una tolerancia de pérdida de suelo de 5 Mg.ha<sup>-1</sup> para campo propio.

**Tabla VI-4: Relación entre MBG-CT. Modelo integrado productor 2.**

Ponderaciones MBG-CT	MBG		CT	
	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	Alcance (%)	\$c. año <sup>-1</sup> x1000	Alcance
100-0	5.758	98,5	5.132	0,00
80-20	5.609	95,5	4.436	15,6
70-30	5.590	95,1	4.378	16,9
60-40	4.372	70,6	2.628	56,1
50-50	3.897	61,1	2.174	66,2
40-60	3.731	57,8	2.041	69,2
30-70	1.870	20,4	1.016	92,2
10-90 y 0-100	1.829	19,6	1.007	92,4

Fuente: Elaboración propia.

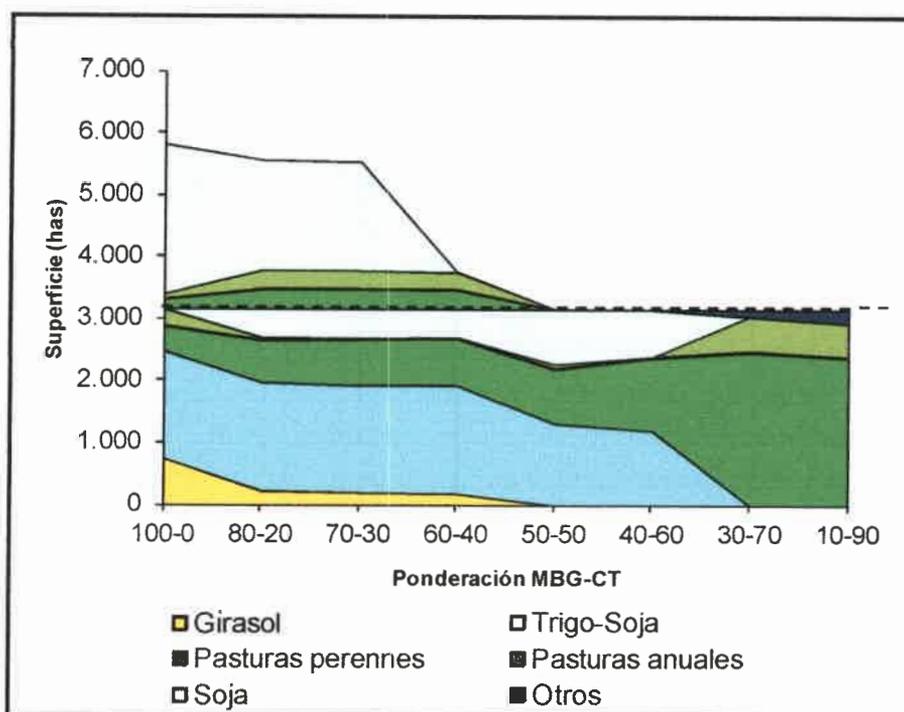
Gráficamente, se observan los aumentos decrecientes de retorno económico en función de incrementos en CT puesto en juego en un ciclo de producción (Gráfico VI-6) La relación entre el capital de trabajo insumido en un ciclo de producción y el aumento de renta por unidad de capital incrementado, en el mismo gráfico, indica que partiendo de la situación de máxima ponderación a reducir CT y aumentando la ponderación a MBG hasta 40, se logra incrementar el 1,81 \$<sub>c</sub> de MBG por 1\$<sub>c</sub> extra de CT. Esta relación cae, llegando a valores de 0,696 cuando pasamos la ponderación a maximizar MBG de 60 a 70% y a 0,21-0,33 cuando pasamos a una ponderación total para MBG. Este resultado tiene una implicancia directa en la toma de decisiones, puesto que indica qué resultado puede generar un aumento en la disponibilidad de capital para realizar el ciclo de producción.



**Gráfico VI-6: Relación entre CT-MBG y  $\Delta$ MBG/ $\Delta$ CT. Productor 2.**

Nota: Entre paréntesis las ponderaciones MBG-CT. Fuente: elaboración propia

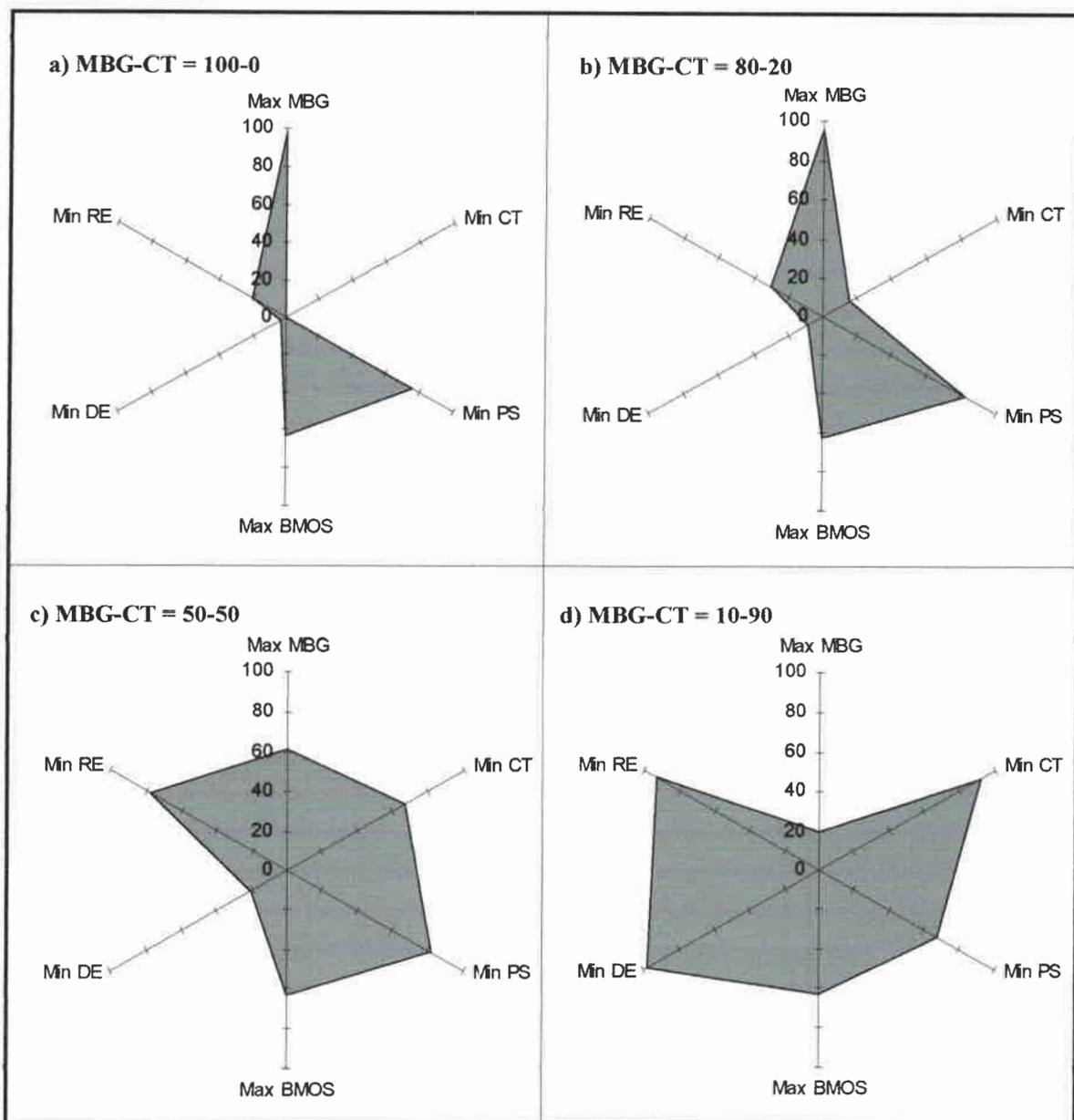
El cambio en las relaciones de importancia o ponderación entre MBG-CT determina planteos de uso de la tierra y rotaciones diferentes. Cuando la ponderación es total para MBG, el modelo selecciona una alta proporción de agricultura en campo propio con trigo-soja y girasol, mientras que dedica alrededor del 20% de la superficie para pasturas. Asimismo, en un escenario no restringido por el capital necesario para realizar la producción, el modelo selecciona tomar en alquiler aproximadamente 2.600 ha. Cuando comienza a tomar importancia el CT como criterio dentro del modelo, la cantidad de hectáreas alquiladas se va reduciendo y dentro de la superficie propia, crece la proporción de tierra dedicada a pasturas para la ganadería y se reduce la superficie destinada a trigo-soja, la cual en parte es reemplazada por soja de primera. En escenarios de mayor ponderación de CT (30-70, 10-90), la superficie dedicada a pasturas pasa a ser prácticamente exclusiva y el modelo no selecciona tomar tierra en alquiler.



**Gráfico VI-7: Uso de la tierra de acuerdo a la relación de ponderación MBG-CT.**  
 Fuente: elaboración propia

*Cambios en el alcance de los atributos en función de la ponderación MBG-CT.*

Cuando cambian las ponderaciones entre dos atributos, los seis indicadores bajo estudio cambian en su grado de alcance. Si el único atributo ponderado es maximizar MBG (Gráfico VI-8.a), el productor debe exponer la mayor cantidad de CT, pero además, debe asumir un alto riesgo y la dependencia de insumos energéticos es prácticamente la mayor. La estrategia del productor de reducir el CT, genera reducciones en el riesgo del sistema y en la demanda de energía fósil del mismo. Es decir, si el productor sacrifica la rentabilidad por disminuir el CT también reduce el RE y la DE (Gráfico VI-8.b,c,d).

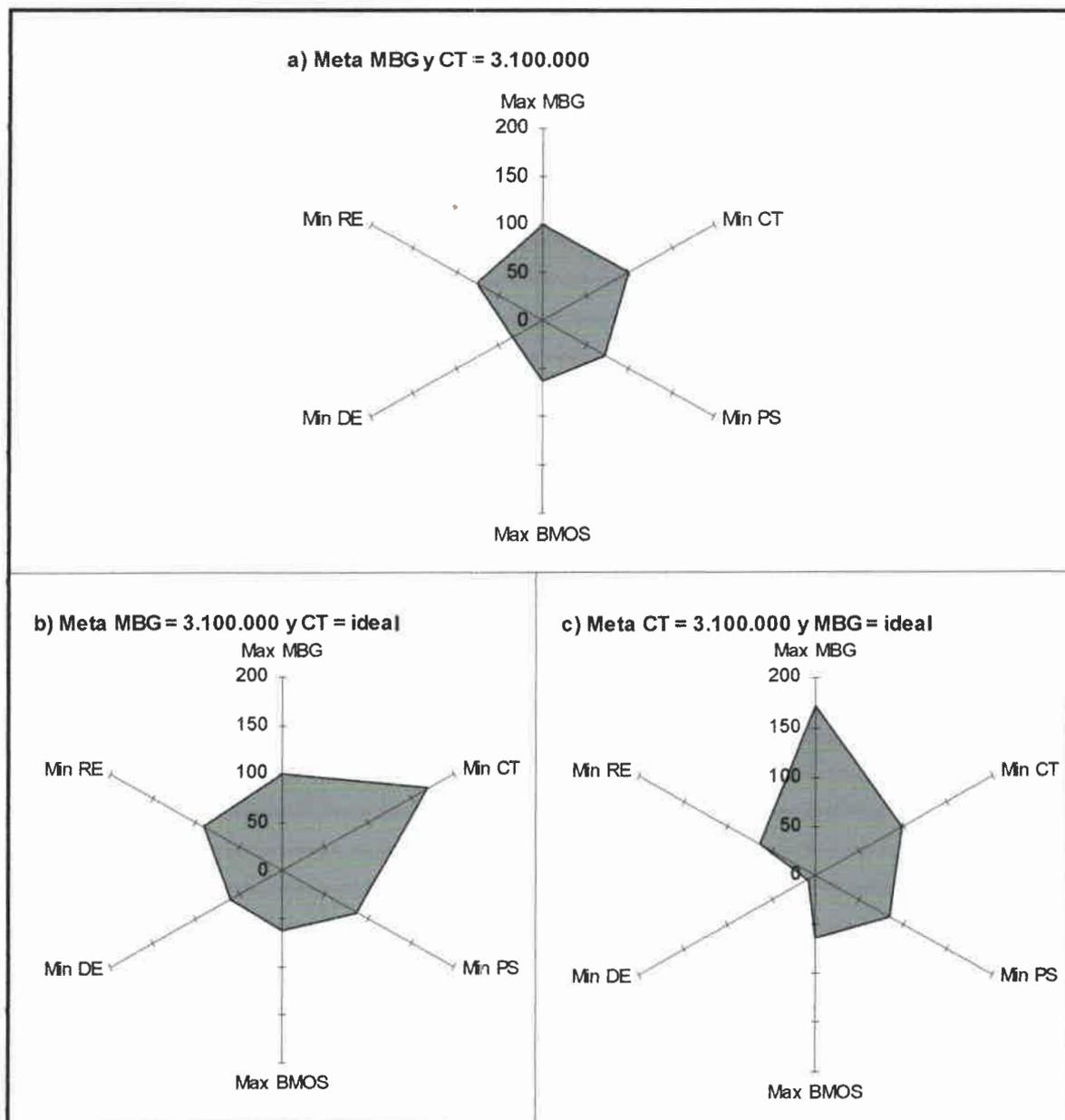


**Gráfico VI-8: Grado de alcance para los distintos atributos ante ponderaciones variables en la relación MBG-CT: a) 100-0; b) 80-20; c) 50-50 y d) 10-90. Productor 2, modelo integrado.**  
 Fuente: elaboración propia

### *Cambio en las metas del TDA.*

Quando el TDA fue consultado respecto de las metas del sistema de producción, indicó que estaba dispuesto a resignar el MBG a niveles de 3.100.000 \$<sub>c</sub> con la meta de reducir CT a 3.100.000 \$<sub>c</sub>. Mediante la aplicación de programación por metas ponderadas a este problema, pudo determinarse que el alcance conjunto de estas dos metas es una solución factible (Gráfico VI-9.a). Sin embargo, si establecemos las metas de forma individual y dejamos la otra como el valor a optimizar, obtenemos que esta

solución (a) es dominada por las soluciones b y c (Gráfico VI-9.b-c). Es decir que se puede obtener un MBG de \$ 3.100.000, reduciendo el capital de trabajo a \$ 1.671.600 (Gráfico VI-9.b, donde el alcance de CT es de 170 puesto que supera los 3.100.000 \$<sub>c</sub> establecidos por el productor como meta) o bien que ante la utilización de 3.100.000 \$<sub>c</sub> de CT, puede alcanzarse un resultado de \$ 4.700.000 (lo cual implica un alcance de 170 para el objetivo MBG, Gráfico VI-9.c)



**Gráfico VI-9: Grado de alcance para los distintos atributos ante metas establecidas por el TDA (a) y definiendo individualmente las metas y optimizando el restante (b y c).**

Fuente: elaboración propia

Es decir, que la relación intuitiva del productor es alcanzable pero no está dentro de la frontera de eficiencia por lo cual puede ser mejorada para al menos uno de los dos atributos que le interesan, alcanzando el resultado establecido como meta del restante.

## **VI.5. Ponderación real que otorgan los productores a sus atributos**

Tomando en cuenta los dos atributos que ambos productores eligen como relevantes en su toma de decisiones, MBG y CT, podemos obtener que de acuerdo a los resultados alcanzados con sus sistemas de producción reales en el periodo 2, la ponderación que otorgan a este par de atributos es variable, ya que mientras el productor 1 otorga una relevancia tres veces mayor al atributo MBG respecto al CT, la ponderación es inversa para el productor 2, quien ha tomado sus decisiones resaltando una importancia mayor al objetivo de minimizar CT (Tabla VI-5).

**Tabla VI-5: Ponderación otorgada a los atributos MBG y CT de acuerdo al resultado alcanzado por los productores. Periodo 2.**

	Max MBG	Min CT
Productor 1	0,729	0,271
Productor 2	0,267	0,733

Este resultado es consistente con la dirección de cambio de uso de la tierra que han seguido los productores. Mientras el productor 1 especializó su sistema de producción hacia los rubros de mayor renta, el productor 2 mantiene un sistema más diverso, con menores necesidades de CT invertido y consecuentemente menos riesgoso desde el punto de vista económico.

## **VI.6. Discusión de los resultados**

Los resultados muestran, tanto en el caso de aplicar la interacción con los productores para definir el conjunto de objetivos y ponderaciones, como en el caso de inferir a partir de los resultados obtenidos en sus sistemas reales de producción, que hay al menos dos atributos en conflicto, rentabilidad y capital de trabajo expuesto, en la asignación del uso de sus recursos a las diferentes actividades productivas. Este hecho

es ampliamente reconocido en la literatura (Ballesteros y Romero, 1998; Schniederjans, 1994; Sumpsi et al., 1996) y de hecho justifica el uso de este tipo de enfoques para analizar la toma de decisión y el uso de la tierra en la agricultura.

Asimismo, los productores en la interacción valoran como más relevantes para sus decisiones los atributos económicos aunque reconocen como importantes los atributos ambientales. Por otro lado, se puede observar que los atributos económicos elegidos no están desvinculados de la dimensión ambiental. Este tipo de hallazgo aparece en la literatura y por lo tanto reafirma que la selección de los atributos es muy importante en la determinación del modelo (Ballesteros y Cohen, 1998).

## **VI.7. Resumen e implicancias de los hallazgos. Líneas a explorar**

El productor 1, cuya ponderación respecto de su beneficio económico es mayor respecto a la minimización del capital de trabajo y del riesgo, obtiene resultados en relación a los atributos BMOS y PS más cercanos a su óptimo, mientras que el grado de alcance del mínimo RE y mínima DE es menor. Por el contrario, el productor 2 pondera en mayor medida una menor exposición de capital de trabajo y consecuentemente logra mayores alcances respecto a los atributos RE y DE en relación a los atributos MBG-BMOS-PS. Estos hallazgos muestran la importancia de considerar explícitamente los atributos y los posibles conflictos para que la interacción con el productor pueda ser provechosa.

Aun teniendo en cuenta que con una reducción en la ponderación del resultado económico para bajar el capital de trabajo se reduce a la vez la dependencia de energía externa para la producción y se pueden alcanzar equilibrios mayores entre el alcance de los atributos ambientales, se destaca como una variable de mayor jerarquía en la definición de una rotación más equilibrada el régimen de tenencia de la tierra, ya que las diferencias más grandes en los planteos rotacionales aparecen entre campo propio y campo alquilado más allá de las ponderaciones de los atributos. Podemos atribuir esta diferencia a la propia restricción al monocultivo impuesta por ambos productores en campo propio, donde es esperable que la tenencia sea de largo plazo, mientras que a

diferencia de este régimen, la tenencia de la tierra en campo alquilado se espera de menor plazo y los productores no pueden asignar restricciones sobre tierra de terceros.

De hecho, la rotación lograda en campo propio aparece como mucho más amigable para un alcance equilibrado entre atributos económicos y ambientales. Por lo tanto, el establecimiento de un régimen de tenencia de la tierra que contemple contratos de largo plazo puede contribuir fuertemente a la mejora conjunta de atributos de ambas dimensiones. Más aún si tenemos en cuenta penalidades de rendimiento que son atribuidas al monocultivo y no reflejadas en este estudio.

## **VII. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

### **VII.1. Introducción**

Teniendo en cuenta que los resultados de las matrices de pago y fronteras de eficiencia tienen exactitud matemática pero corresponden a modelos muy simplificados de la realidad (Zander y Kächele, 1999), donde ciertas variables como precio de los productos, insumos, restricciones y productividad de los cultivos y ganadería se mantienen constantes, se hace necesario evaluar la sensibilidad de los resultados ante cambios en los coeficientes técnicos y económicos derivados de cambios en estas variables. En el apéndice B se muestra un análisis de precios de los productos e insumos y relaciones más importantes para los sistemas de producción bajo estudio y se culmina definiendo y justificando las variables a sensibilizar para observar la estabilidad de los resultados y definir futuras líneas de investigación.

El presente capítulo muestra los resultados del análisis de sensibilidad, enfocado sobre el efecto que tienen variables de precio de productos e insumos sobre el uso de recursos que selecciona cuando el objetivo es maximizar el MBG.

El resto del capítulo continúa describiendo el método utilizado, los parámetros a sensibilizar y el tipo de análisis que se realiza para cada uno de ellos (VII.2). Luego, en la sección VII.3 se muestran los cambios en el sistema de producción que define el modelo para cada escenario cuando el objetivo es maximizar MBG. La sección VII.4 identifica los cambios del atributo MBG en las optimizaciones individuales de cada uno de los atributos ante cambios en los precios de los productos, mientras que en la sección VII.5 se explora cómo cambia el MBG ante cambios en los costos directos, derivados de cambios en los precios de los insumos.

## **VII.2. Método**

Luego de definir los parámetros a sensibilizar, el análisis se realiza identificando los cambios en los atributos y usos de la tierra cuantificados por el modelo matemático multicriterio definido en el capítulo III para cada cambio en los coeficientes técnicos y restricciones del análisis de sensibilidad.

### **Parámetros a sensibilizar**

Las relaciones entre productos que más variabilidad presentan en la serie 1990-2008 serán sensibilizadas (T maíz/T soja y kg novillo/T soja), utilizando los valores del percentil 25 y 75 (escenarios 1 a 4). Mientras tanto, los escenarios 5 a 7 exploran cambios en el capital de trabajo (CT), asociados a insumos con precio en el percentil 90, 75 y 25. Por último en los escenarios 8 a 10 se estudia el efecto del cambio en restricciones técnicas de rotación y de entrada de animales (esta última para el productor 2, al quitarla del modelo, se permite que el productor produzca solo cultivos agrícolas). La Tabla VII-1 resume los cambios en los parámetros del modelo en los diferentes escenarios de sensibilización.

**Tabla VII-1: Resumen de relaciones y parámetros del modelo que cambian en los escenarios de análisis de sensibilidad**

Escenario	Relación que cambia	Cambio en parámetro
0	Original	
1	Aumenta relación T maíz / T soja	Baja en precio de maíz 10%
2	Baja relación T maíz/T soja	Aumento en precio de maíz 9%
3	Baja relación kg novillo/T soja	Baja en precio de soja 15%
4	Aumenta relación kg novillo/T soja	Aumento en precio de soja 13%
5	Aumentan los costos. P90	Aumento en CT 33%
6	Aumentan los costos. P75	Aumenta en CT 14%
7	Bajan los costos. P25	Baja en CT 16%
8	Sin restricción al monocultivo	Se incorpora penalidad de rendimiento soja sobre soja de 13% <sup>28</sup> y se quita la restricción al monocultivo
9	Sin restricción al monocultivo + aumentan los costos. P90	Idem escenario 5 + escenario 8
10	Sin restricción de entrada mínima de animales	Solo para el productor 2

## **Análisis**

Para cada uno de los escenarios, se define el cambio en el MBG ante el cambio de escenario y se identifican los cambios en las estrategias de los sistemas de producción y rotaciones de cultivo ante estas situaciones. Esto permitirá identificar qué grado de sensibilidad muestran los resultados a estas variables clave y hasta qué punto el modelo captura cambios en los coeficientes técnicos a través de cambios en el uso de la tierra para el periodo 2.

### **VII.3. Cambios en los modelos de producción ante variaciones de precios, costos y penalidades de rendimiento por monocultivo**

#### **Productor 1**

Los cambios en el uso de la tierra que identifica el modelo son de escasa magnitud para los escenarios evaluados, aunque el cambio en el atributo MBG cambia

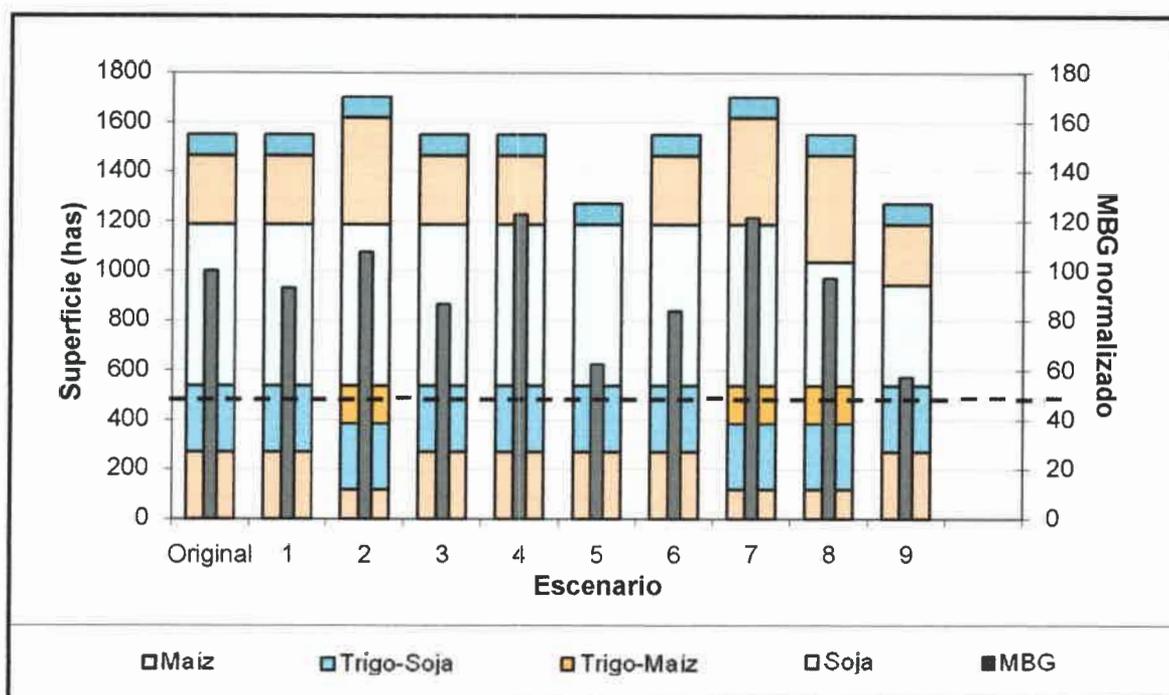
---

<sup>28</sup>: promedio de diferencia de rendimiento entre cultivos de soja sobre soja de primera respecto a cultivos de soja sobre maíz de primera para la región centro, campañas 2006-09. Fuente: AACREA. 2008. Planillas de producción Agrizoce Soja 2006-08, Río Cuarto, AACREA. 2009. Planillas de producción Agrizoce Soja 2005-09, Río Cuarto.

sensiblemente entre escenarios (Gráfico VII-1). En su condición original (MBG normalizado = 100), el modelo selecciona para el productor 1 mitad de superficie de trigo-soja y mitad de superficie de maíz en campo propio y para 1.012 ha alquiladas, una proporción de 16 hectáreas de soja de primera, 7 de maíz de primera y 2 de trigo-soja. Solo el aumento de precio del maíz (E2), la reducción de los costos directos (E7) y la eliminación de restricción de rotación junto con una penalidad de rendimiento por monocultivo de soja (E8) define leves cambios en la composición de cultivos en la superficie propia, con mayor participación de trigo-maíz y menor participación de maíz de primera.

Mientras tanto, la superficie alquilada permanece constante, a excepción de los escenarios 5 y 9, donde los costos directos suben un 33% y el modelo selecciona alquilar un 30% menos de superficie y en los escenarios de aumento del precio del maíz y reducción de costos (E2 y E7), donde el modelo aumenta levemente la superficie que alquila para sembrar maíz.

Entonces, teniendo en cuenta que las modificaciones en los planteos de uso de la tierra no se modifican sustancialmente, el MBG sufre caídas del orden del 40% para los escenarios de mayor aumento de costos directos y aumentos del orden del 20% cuando se reducen los costos o aumenta el precio de la soja.



**Gráfico VII-1: Uso de la tierra que selecciona el modelo para cada escenario y MBG normalizado para optimización de máximo MBG. 100 = MBG en el modelo original, productor 2, periodo 2, optimizando MBG.**

Nota: la línea punteada divide las superficies, hacia abajo la propia, hacia arriba la alquilada. Fuente: elaboración propia

La cartera de productos que el tomador de decisión dispone no permite adaptar su modelo ante cambios esperables en las relaciones de precio y el modelo solo muestra ajustes en el tamaño de algunas actividades, principalmente en superficie alquilada.

También es relevante destacar que en caso de dejar de lado la restricción de monocultivo de soja e incorporar una penalidad de rendimiento para el cultivo sin rotación con gramíneas, el modelo mantiene una superficie de soja no mayor al 50% en campo propio y hasta genera una rotación más equilibrada en campo alquilado.

## Productor 2

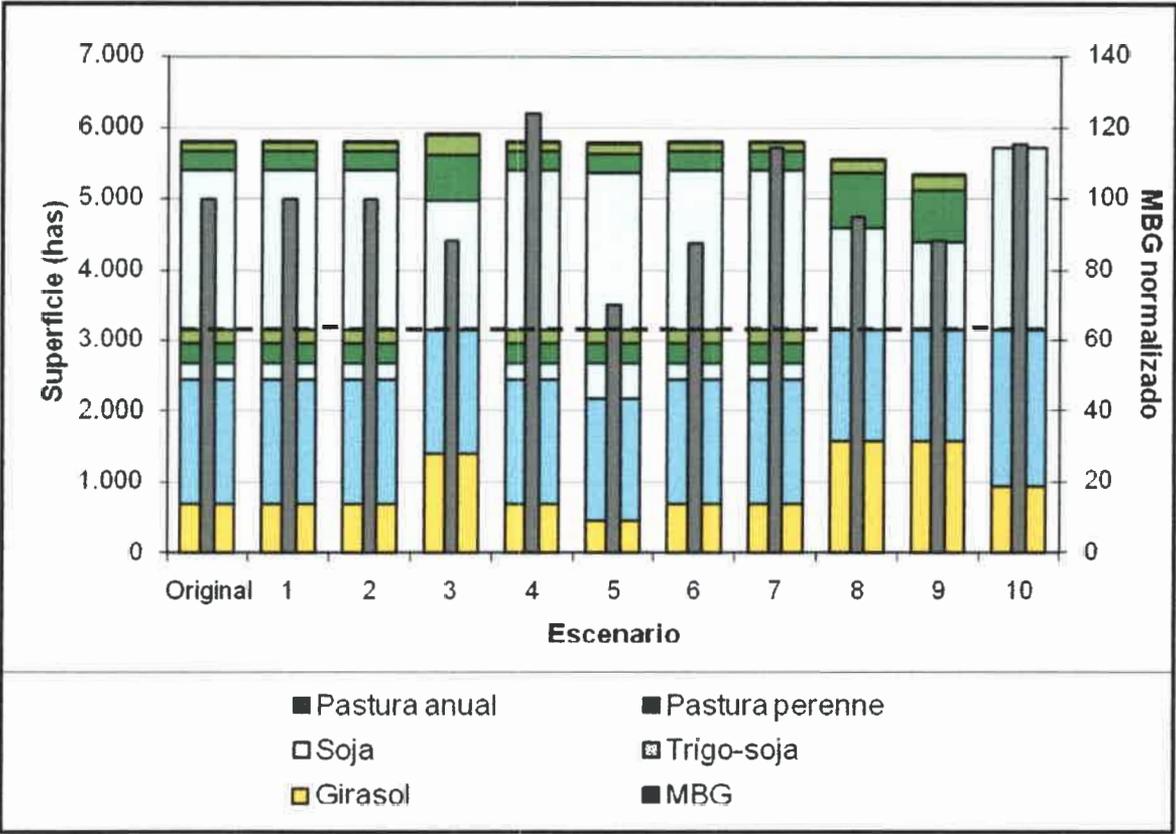
El modelo original para el productor 2 selecciona al maximizar el MBG, 55% de la superficie en trigo-soja, 22% para realizar girasol y superficies menores al 10% son dedicadas a soja de primera, pasturas anuales y perennes, mientras que indica alquilar 2.640 ha, utilizando el 85% para soja, 10% para pasturas perennes y 5% para pasturas anuales.

Al igual que lo encontrado en el productor 1, los cambios en los precios relativos de insumos y productos prácticamente no modifican el planteo de uso de la tierra para

máximo MBG, salvo leves reducciones en la superficie dedicada a soja de primera cuando baja el precio de la oleaginosa (E3, con cambios que afectan menos del 20% de la superficie total) y menos girasol y más soja de primera cuando aumentan un 33% los costos directos (E5, solo afecta la decisión sobre menos del 10% de la superficie propia).

Cuando se elimina la restricción de rotación de cultivos (E8 y E9), el modelo sigue manteniendo una rotación trigo-soja-girasol para campo propio y realiza mayor cantidad de pasturas en campo alquilado para evitar la penalidad de rendimiento por monocultivo de soja de primera.

Mientras tanto, si se elimina la restricción de ganadería, el modelo no selecciona pasturas y cambia hacia una rotación más intensiva trigo-soja-trigo-soja-girasol para campo propio y solo realiza soja de primera en campo alquilado.



**Gráfico VII-2: Uso de la tierra que selecciona el modelo para cada escenario y MBG normalizado para optimización de máximo MBG.**

Nota: la línea punteada divide las superficies, hacia abajo la propia, hacia arriba la alquilada. Fuente: elaboración propia

Para este productor, también se observa que los cambios en escenarios de precios no generan sensibilidad en los modelos de producción para maximizar el MBG,

es decir que éstos son relativamente estables para los cambios esperables en los precios más variables. Sin embargo, los cambios en las restricciones de rotación modifican los planteos, dejando la totalidad de la superficie propia dedicada a agricultura (E8 y E9) y directamente eliminando la ganadería del planteo rotacional cuando se elimina la restricción de mínima entrada de animales. En este último caso, puede observarse que puede lograrse un aumento del orden del 16% en el resultado económico, lo cual constituye el cambio en la frontera de MBG que se logra al eliminar la restricción de ganadería.

Los MBG máximos, en tanto, cambian respecto al original de forma más notoria, con extremos de aumentos del 24% cuando aumenta el precio de la soja y reducciones del orden del 30% cuando los costos directos aumentan en mayor magnitud.

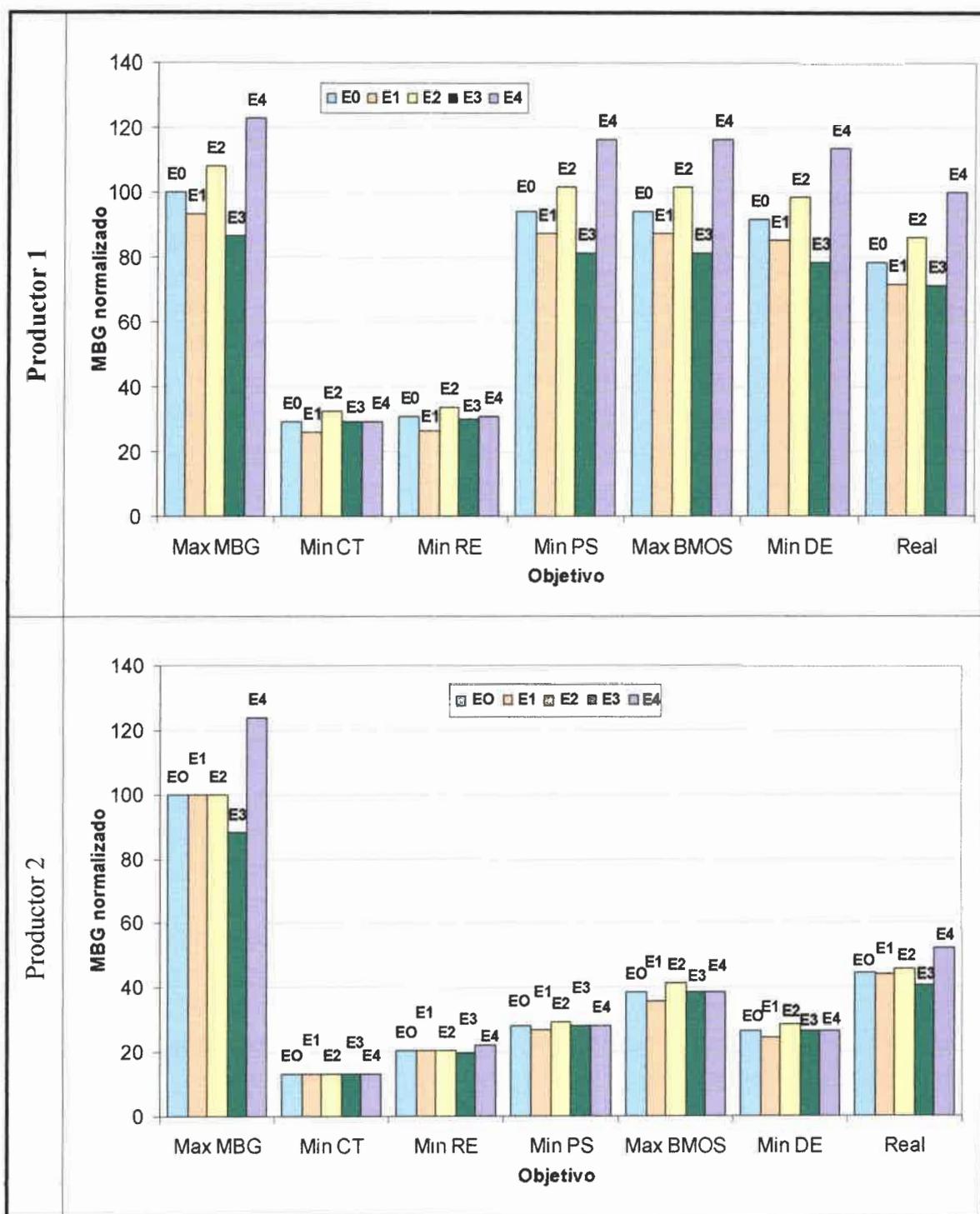
Si bien el productor 2 mantiene una cartera de productos sobre la que seleccionar más diversa, su capacidad de atemperar efectos sobre el MBG de cambios en los precios de insumos y productos mediante cambios en la asignación de superficie a diversos cultivos y ganadería también es reducida.

#### **VII.4. Cambios en el resultado económico ante los cambios de precios de productos**

Los cambios en los precios relativos de los productos provocan variabilidad en el resultado económico (MBG) en las optimizaciones individuales de atributos tanto para el productor 1, como para el productor 2 (Gráfico VII-3). Sin embargo, la magnitud de la variación cambia entre productores, ya que en general, los cambios en MBG que provocan variaciones del precio de soja y maíz son mayores para el productor 1, quien posee una cartera de productos más estrecha. Los cambios en los precios de maíz (E1 y E2) provocan solo leves modificaciones de MBG en el caso del productor 2 (5% en promedio), cuando se optimizan los atributos ambientales, mientras que en el caso del productor 1, las modificaciones son del orden del 13% en promedio.

Asimismo, se observa que la relación de precios novillo/soja (E3 y E4) respecto a la relación maíz/soja (E1 y E2) tiene una mayor influencia sobre el resultado, teniendo en cuenta que presenta mayor variabilidad y que el cultivo de soja participa en mayor

medida en los planteos seleccionados por el modelo tanto como en el planteo real de los productores. Nuevamente el sistema más sensible a los cambios es el menos diverso (productor 1), que ante aumentos y bajas en el precio de la soja del orden del 15 y 13% respectivamente reacciona con aumentos del MBG del orden del 24 % y reducciones del orden del 13% cuando se maximiza MBG o se optimizan los atributos ambientales. Mientras tanto, en el productor 2, solo se marca una diferencia en MBG de esta magnitud cuando se maximiza este atributo.



**Gráfico VII-3: Cambios en MBG ante distintos escenarios de precio de productos para los 6 atributos optimizados y la situación real, productores 1 y 2.**

Fuente: elaboración propia

Si no tomamos en consideración cambios de estrategias reales del productor ante cambios relativos de los precios de los productos, se observa que el MBG del productor 1 oscila en mayor medida, respecto a cambios en el resultado para el productor 2. La

disponibilidad de una cartera de actividades más amplia y un sistema de producción más diversificado, reduce la variabilidad del resultado del productor 2 ante cambios en los precios de los productos.

### **VII.5. Cambios en el resultado económico ante cambios en los precios de insumos**

Si la totalidad de los insumos cambian su precio en forma conjunta y toman los valores correspondientes al percentil 90 (Escenario 5), el MBG se ve fuertemente afectado, siendo más intenso el cambio para el productor 1, el cual es relativamente más dependiente del uso de insumos para el logro de un sistema de producción exitoso.

Cuando éste maximiza el MBG en este escenario, puede alcanzar solo el 63% del máximo para el escenario original, mientras que el productor 2 alcanza el 70%.

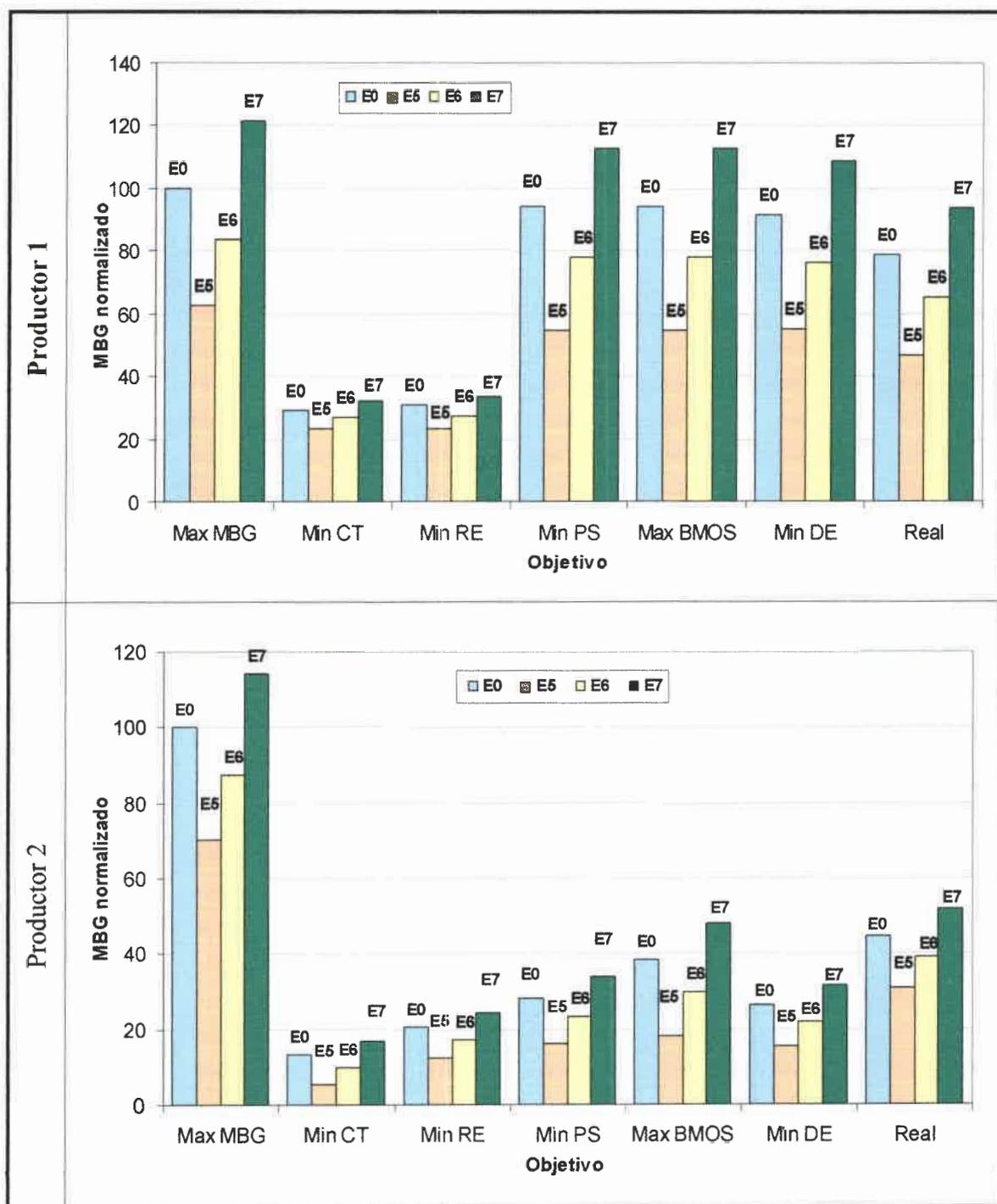


Gráfico VII-4: Cambios en MBG ante distintos escenarios de precio de insumos para los 6 atributos optimizados y la situación real, productores 1 y 2.

Fuente: elaboración propia

## **VII.6. Resumen e implicancias de los hallazgos. Líneas a explorar**

La distribución del uso y manejo de la tierra de ambos productores para alcanzar su máximo resultado económico varía en escasa medida ante cambios esperables en las relaciones de precios de insumos y productos. Los resultados finales de los modelos muestran importantes modificaciones en los resultados económicos en relación a la reducida capacidad de adaptación de los productores con cambios en las decisiones de asignación de recursos a los usos de la tierra. Este hallazgo de especial importancia, ya que implica la necesidad de trabajar sobre medidas que permitan atemperar de forma más efectiva los resultados ante variaciones en las condiciones de precio de productos e insumos. Ejemplos de líneas de trabajo en relación a este tema son la ampliación de las alternativas de decisión, inclusión de alternativas tecnológicas variables para la producción de cultivos y pasturas de acuerdo a las relaciones insumo/producto y determinación de las funciones de producción de cultivos y ganaderas.

La ausencia de restricciones de rotación en campo propio en los escenarios de sensibilidad no marca cambios en la asignación de uso de la tierra si se incorpora la penalidad de rendimiento por monocultivo que manifiesta el análisis de bases de datos de cultivo regionales (AACREA, 2010a; AACREA, 2010b; AACREA, 2010c). Incluso esta incorporación de la penalidad de rendimiento implica que el modelo reduzca la proporción de monocultivo de soja en campo alquilado en los dos productores. Este hallazgo es de suma importancia porque implica una justificación de la restricción de monocultivo que los productores asumen para su campo, teniendo en cuenta que tienen una relativa seguridad de utilización en el tiempo de esta superficie e indica que para contratos o relaciones de arrendamiento de largo plazo, la opción de monocultivo no es la mejor económicamente.

El conocimiento más exacto de las funciones de producción y su relación con la rotación de los cultivos en el mediano plazo serían avances muy importantes para ajustar la modelación de la toma de decisión en asignaciones más eficientes del uso de la tierra.

## VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Aunque los resultados de este estudio son consistentes con los encontrados en la bibliografía, previo a la extrapolación de resultados, el lector debe considerar algunas limitaciones, a saber: solamente dos casos fueron estudiados, no se incluyó la dimensión social en el estudio, los parámetros del modelo son independientes de los propios resultados del mismo, se incluyeron únicamente las actividades que los productores tuvieron en cuenta en los periodos analizados, y los parámetros estimados con RUSLE y ROTH-C se pueden considerar solo en términos relativos.

El estudio fue desarrollado con datos de dos productores regionales de tipo empresarial, que llevan registros productivos y económicos con los cuales se contaba al inicio de la investigación. La magnitud de las tendencias encontradas en el análisis permite inferir resultados similares para productores de la misma región, de tipo empresarial y escala semejante. Los resultados obtenidos deben ser extrapolados con cautela para otro tipo de productores. Por ello, para extender los hallazgos se sugiere

promover la incorporación y homologación de sistema de registros en productores de otras características, que permitan facilitar los datos para otros estudios de esta naturaleza.

La sustentabilidad de los sistemas de producción es un concepto amplio, que abarca las dimensiones económica, ambiental y social de los sistemas de producción. En este trabajo, la aplicación del concepto se ha realizado en forma restringida a las dimensiones ambiental y económica, no tomando en consideración la dimensión social. La metodología de trabajo podría ser de utilidad para que futuras investigaciones incorporen los atributos de esta dimensión al análisis.

Asimismo, la caracterización de cada dimensión evaluada (económica y ambiental) con tres atributos, deja margen para incorporar otros indicadores, sobre todo en la dimensión ambiental, donde sería de interés evaluar, por ejemplo, la emisión de gases de efecto invernadero, el balance energético, los efectos de los sistemas de producción sobre la biodiversidad, el riesgo de contaminación con pesticidas, todos atributos reconocidos por la literatura para la dimensión ambiental (Dogliotti et al., 2004; Ferraro et al., 2003; Franzluebbers, 2005; Franzluebbers y Francis, 1995; Lakshminarayan et al., 1995; Viglizzo et al., 2010) y sobre los cuales el presente trabajo no avanzó. Los atributos se seleccionaron en función de la preferencia de los productores y técnicos de la región y de la disponibilidad de modelos que permitieran estimar los coeficientes de contribución a partir de la información de base disponible.

El modelo selecciona un conjunto de variables de decisión (tierra asignada a diferentes cultivos), sobre las cuales en este trabajo inferimos la rotación de cultivos. El estudio asume que los resultados de los atributos son estables temporalmente para cada periodo, es decir, que los coeficientes de contribución no varían por cambios en los planteos rotacionales (salvo en el análisis de sensibilidad donde se incorpora una penalidad de rendimiento por monocultivo). Esta simplificación del modelo permitió detectar tendencias de conflictos entre atributos y usos de la tierra y concluir sobre planteos rotacionales que favorezcan una u otra dimensión y podría ser completada en futuras investigaciones, con funciones de producción que incorporen los efectos de diferentes usos y manejos de la tierra antecedentes sobre los atributos bajo estudio en cada período.

Asimismo, este estudio no incorpora actividades que el TDA no tuvo en cuenta en los periodos analizados (rubros de producción, tecnología, entre otros). La aproximación metodológica sería de gran provecho para evaluar nuevos cultivos, otros planteos tecnológicos, prácticas de conservación de suelo y agua, incorporación de cultivos bajo riego, entre otras posibilidades que permitan analizar la mejora en atributos que hayan evolucionado negativamente en el periodo bajo estudio.

Por último, el modelo de simulación RUSLE es ampliamente utilizado regionalmente (Cisneros et al., 2004). En tanto el modelo Roth-C no ha sido muy utilizado en nuestra región y los resultados pueden ser tomados en cuenta solo en forma relativa (mayor o menor balance de materia orgánica). Dada la importancia del indicador como síntesis de la calidad del suelo, sería de interés académico y práctico validar, calibrar o desarrollar modelos que permitan disponer de valores de este atributo utilizables en términos absolutos.

## **IX. CONSIDERACIONES FINALES**

El Análisis de Decisión Multicriterio permite valorar en forma conjunta atributos económicos y ambientales, generando un nexo operativo al propio concepto de sustentabilidad, que en sí mismo es multidimensional. En este estudio se desarrolló un modelo de programación multicriterio que permitió integrar atributos de ambas dimensiones a escala predial, en dos establecimientos agropecuarios de la Región Centro-Sur de Córdoba, representando dos situaciones distintas: un productor que especializó el sistema de producción desde un sistema mixto con agricultura y ganadería bovina de invernada a un sistema de agricultura permanente y otro que mantuvo su sistema de producción mixto con ganadería bovina de invernada y cultivos agrícolas.

Para los casos bajo estudio se comprobó que el aumento de la rentabilidad económica de estas empresas de la región en el periodo 1994 – 2006 estuvo acompañado de una mejora en dos atributos ambientales: la conservación de suelo y los

balances de materia orgánica, pero muestra una relación inversa con la dependencia de energía externa y otros atributos económicos, como riesgo y necesidad de capital de trabajo. Esta dirección de los cambios en los atributos ambientales y económicos fue similar en ambos productores tanto en sus resultados reales como en términos de las fronteras de eficiencia entre atributos, aun cuando sus sistemas de producción evolucionaron de forma diferencial.

Otro hallazgo importante es que la intensidad de las variaciones en los atributos entre periodos fue mayor en el productor que especializó su sistema a agricultura permanente en relación al que se mantuvo mixto, tanto en los indicadores que mejoraron como en los que empeoraron su resultado en el tiempo. Por ejemplo, ambos sistemas mejoraron su renta en términos de frontera y en sus resultados reales, pero la mejora lograda por el productor que se especializó en agricultura fue, en términos relativos al primer periodo, más del triple que la alcanzada por el productor mixto. En contraste, un atributo que muestra desmejoras como la dependencia de los insumos energéticos aumentó entre periodos más de tres veces para el productor 1 en relación al productor 2.

En ambos sistemas de producción se ha reducido el conflicto entre la maximización de la renta y la conservación del suelo, medida a través de los atributos pérdida de suelo y balance de materia orgánica en términos de frontera y en las soluciones reales. Sin embargo, esta mejora conjunta de atributos económicos y ambientales se dio a costa de un aumento del capital de trabajo y una creciente utilización de energía externa en los sistemas de producción. Estos aumentos en las entradas de insumos en los sistemas posibilitaron incrementar la producción de biomasa, la cobertura más temprana del suelo y la cantidad de residuos de cultivo y por lo tanto aumentar la dinámica del ciclo del carbono y reducir la erosión de suelo.

La ausencia de alternativas que mejoren los tres atributos ambientales en su conjunto en el segundo periodo de análisis es un resultado de relevancia del trabajo. La dependencia de energía externa incorporada al sistema, presenta una desmejora en todos los resultados del segundo periodo en relación al periodo inicial para ambos productores y en ninguno de los casos, las alternativas de bajo uso de insumos son tenidas en cuenta en el periodo final de análisis. En el caso de mantenerse la tendencia de aumento de

precio en los insumos energéticos, las mejoras alcanzadas en los atributos pérdida de suelo y balances orgánicos podrían verse comprometidas, poniendo en riesgo la sustentabilidad ambiental de ambos sistemas de producción.

Otro hallazgo de relevancia es un importante conflicto en ambos productores dentro de la dimensión económica. La maximización de la renta conlleva los peores resultados del atributo riesgo económico y esto se acentúa en el segundo periodo y es más intenso en el productor que ha especializado su sistema de producción. Cuando se busca la maximización de la renta, los modelos tienden a un mayor grado de especialización hacia cultivos agrícolas oleaginosos de mayor margen, mientras que en el caso de que el objetivo sea reducir el riesgo, la selección de una estrategia de diversificación de cultivos es adoptada.

Teniendo en cuenta que el productor de mayor especialización del sistema ha reducido a la mitad la cantidad de variables que analiza para decidir el uso y manejo de la tierra, un hallazgo de relevancia es que su mínimo riesgo en el segundo periodo es once veces mayor respecto al primero, lo cual pone una señal de alerta en relación a la especialización de los sistemas de producción y su escasa capacidad de mitigar la variabilidad de su resultado económico.

Estos resultados muestran además, que el conflicto dentro de los atributos de cada dimensión puede ser igual o superior al propio conflicto entre dimensiones, lo cual pone de manifiesto la importancia de la selección de atributos que representen adecuadamente la sustentabilidad en cada una de las dimensiones de análisis y dificulta una conclusión en un sentido amplio para cada dimensión. Esto es, difícilmente se pueda hablar de sustentabilidad económica o ambiental sin detallar los atributos tenidos en cuenta en el análisis.

En relación a la tenencia de la tierra, el modelo incorpora las diferencias entre restricciones de los tomadores de decisión en campo propio donde no es permitido el monocultivo y campo alquilado, donde no existen restricciones al uso de la tierra. En esta situación, el trabajo muestra que ante procesos de maximización de la renta, las opciones elegidas en campo alquilado tienden a monocultivos oleaginosos. Posiblemente este comportamiento explica la alta especialización de cultivos en la región, debido a que el productor no puede penalizar o restringir el monocultivo en

campo de terceros. Dada la alta proporción de tierras que se cultivan con esta modalidad de tenencia en la región, se debería estudiar si este comportamiento es generalizado y en ese caso revisar las políticas sobre el uso y manejo de tierras arrendadas, teniendo en cuenta el potencial impacto sobre atributos ambientales.

Algunas estrategias de rotación de cultivos son destacadas para mejorar atributos en particular. Alcanzar máximos márgenes económicos requiere de alta especialización en cultivos agrícolas, específicamente oleaginosos. La mejora en la conservación de suelo, medida a través de los atributos pérdida por erosión de suelo y balance de materia orgánica, se logra, con mayor proporción de superficie destinada a pasturas, el aumento de la proporción de gramíneas y aumentos de rendimiento en los cultivos. En tanto, la diversificación de rubros de producción y cultivos dentro de los rubros es la estrategia principal para reducir el riesgo, mientras que el cultivo de tierra tomada en alquiler aumenta en todos los casos el riesgo económico de los productores.

De la interacción con los tomadores de decisión, surge que ambos toman en cuenta básicamente el par de atributos MBG/CT, valores que miden y conocen claramente. Para los dos, CT es un indicador de riesgo. El productor especializado en agricultura en el segundo periodo pondera más su renta económica respecto a la minimización del capital de trabajo y por ende obtiene una mejor performance en los atributos MBG, BMOS y PS, mientras que el grado de alcance del mínimo CT, RE, DE es menor. Por el contrario, el productor 2 prefiere en mayor medida una menor exposición de capital de trabajo y consecuentemente logra mayores alcances respecto a los atributos CT, RE y DE en relación al conjunto MBG-BMOS-PS. Esta ponderación diferencial explica la evolución real de ambos sistemas de producción, con un mayor grado de especialización del sistema de producción en el caso del productor 1.

Los resultados del modelo en la asignación de tierra son muy estables ante cambios esperables en las relaciones de precios de insumos y productos y en la restricción de monocultivo, con lo cual se concluye que los principales hallazgos de esta investigación son poco variables antes estos cambios en los parámetros de los modelos. Por otro lado el valor del atributo MBG tomado como modelo en el análisis de sensibilidad, varía considerablemente. Por ejemplo, aumentos en los gastos directos efectivos en insumos del 33% no modifican sustancialmente la asignación de cultivos

en ninguno de los dos productores. En tanto, la variabilidad del atributo MBG ante estos escenarios es casi de la misma magnitud del cambio sensibilizado, indicando la baja capacidad de adaptación de los sistemas de producción, sobre todo aquel más especializado, al cual los cambios lo afectan en mayor medida. Para el mismo ejemplo, este aumento de costos reduce en un 30% el MBG del sistema mixto y lo disminuye cerca de un 40% para el sistema agrícola puro en el segundo periodo.

Tampoco se observa una importante sensibilidad del modelo ante el cambio de la restricción de rotación en campo propio por una penalidad de rendimiento al monocultivo, derivada del análisis de bases de datos agrícola regional. El estudio de este aspecto debería ser profundizado, teniendo en cuenta que para estos casos la práctica de monocultivo sobre tierras arrendadas, frecuente en nuestra región y en el país, no es una decisión económicamente rentable, más allá del reconocido impacto que tiene sobre los atributos ambientales.

La dirección de los cambios operados en los atributos, tanto en términos de frontera como en los sistemas reales y para ambos productores, posiblemente es explicada por el énfasis que han tenido los trabajos realizados sobre los atributos que efectivamente muestran mejoras significativas en los periodos analizados (MBG-PS-BMOS). En contraste los atributos que en ambas dimensiones muestran desmejoras (CT-RE-DE) no han sido suficientemente tenidos en cuenta en los cambios operados en los sistemas ni en las alternativas que generan la frontera de soluciones eficientes. Será necesario entonces explorar alternativas que permitan atemperar las relaciones conflictivas encontradas en este trabajo.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. 1990. Normas para medir los resultados económicos en las empresas agropecuarias. AACREA.
- AACREA. 2007a. Anuario estadístico.
- AACREA. 2007b. Series de Precios 2.0. Área de Economía de AACREA.
- AACREA. 2008. Planillas de producción Agrizoce Soja 2006-08, Río Cuarto.
- AACREA. 2009. Planillas de producción Agrizoce Soja 2005-09, Río Cuarto.
- AACREA. 2010a. Base de datos de producción AgriZoCe Soja 2005-10, Río Cuarto.
- AACREA. 2010b. Base de datos de producción AgriZoCe Trigo 2005-10, Río Cuarto.
- AACREA. 2010c. Base de datos de producción AgriZoCe Maíz 2005-10, Río Cuarto.
- AACREA, y FAV. 2006. Protocolo específico de FAV-UNRC y AACREA zona centro.
- 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* 30:174-191.
- 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* 25:92-109.
- Andrade Pérez, Á., y F. Navarrete Le Blas. 2004. Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México D.F.
- Antoine, J., G. Fischer, y M. Makowski. 1997. Multiple Criteria Land Use Analysis. *Applied Mathematics and Computation* 83:195-215.
- Ballestero, E., y C. Romero. 1998. Multiple criteria decision making and its applications to economic problems Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ballestero, E., y D. Cohen. 1998. Metodología multicriterio en las decisiones empresariales. *Dirección y Organización* 19:5-11.
- 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* 13:225-244.
- Bisang, R. 2008. La agricultura argentina: cambios recientes, desafíos futuros y conflictos latentes. CEPAL.
- Bocco, M., S. Sayago, y E. Tártara. 2002. Modelos multicriterio: una aplicación a la selección de alternativas productivas. *Agricultura Técnica*. 62:450-462.
- 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.

- Bustamante, A. 2006. Rentabilidad, Riesgo y Sustentabilidad en Sistemas de Producción Mixtos y Agrícolas JAT sistemas mixtos: La sustentabilidad es rentable. AACREA, Laboulaye.
- Cardinal, G. 2006. Sistemas de producción mixtos JAT sistemas mixtos: La sustentabilidad es rentable. AACREA, Laboulaye.
- 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 2:20-25.
- Cisneros, J.M., J. de Prada, A. Degioanni, A. Cantero G., H. Gil, M. Reynero, F.A. Shah, y B. Bravo-Ureta. 2004. Erosion 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.
- Colby, M.E. 1990. Environmental Management in Development. The Evolution of Paradigms. World Bank Discussions Papers. N°80.
- CREA. 2007. Cartillas de los establecimientos agropecuarios, años 2003 a 2006. AACREA - Región Centro, Río Cuarto.
- CRG. 2007. Cartillas y registros de gestión del establecimiento agropecuario, años 1994 a 2006. AACREA - Región Centro, Río Cuarto.
- Chudnovsky, D., S. Rubin, E. Cap, y E. Trigo. 1999. Comercio internacional y desarrollo sustentable. La expansión de las exportaciones argentinas en los años 1990 y sus consecuencias ambientales. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg.
- de Koeijer, T.J., J.A. Renkema, y J.J.M. van Mensvoort. 1995. Environmental-economic analysis of mixed crop-livestock farming. Agricultural Systems 48:515-530.
- de Prada, J. 2001. an application of goal programming to a soil erosion case in Argentina, University of Connecticut, Connecticut.
- de Prada, J., B. Bravo-Ureta, y 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. VIII:4-21.
- de Prada, J.D., T.-C. Lee, A.R. Angeli, J.M. Cisneros, y A. Cantero. 2007. Análisis multicriterio para la conservación de suelos: Aplicación a una cuenca representativa del centro Argentino. Jornadas Argentinas de Economía Ecológica, Tucumán.
- 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 9:45-59.
- 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* 21:1368-1374.
- 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* 65:1-18.
- 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* 80:277-302.
- 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.
- FAO. 2003. Los aspectos económicos de la agricultura de la conservación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO. 2006. The State of Food Insecurity in the World. Eradicating world hunger – taking stock ten years after the World Food Summit. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO. 2007. The State of Food and Agriculture. Paying Farmers for Environmental Services. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO. 2009. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2009. La ganadería a examen, Roma.
- Ferraro, D., C. Ghersa, y G. Sznajder. 2003. Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 96:1-18.
- Ficco, M. 2006. Evolución de los sistemas de agricultura permanente, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Flores, C.C., y S.J. Sarandón. 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 105:52-68.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, y P.K. Snyder. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* 309:570-574.
- Foster, G.R. 2004a. Software RUSLE2 ARS version jan 10 2005 USDA, Washington D.C.
- Foster, G.R. 2004b. Revised Universal Soil Loss equation Version 2. User's reference guide. USDA, Washington D.C.

- Franzluebbers, A.J. 2005. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil and Tillage Research* 83:120-147.
- Franzluebbers, A.J., y C.A. Francis. 1995. Energy output:input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 53:271-278.
- Garrido Colmenero, A. 2002. El seguro agrario como instrumento para la garantía de rentas Jornada temática "La Garantía de Rentas. El Seguro Agrario". Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, España, Madrid.
- Gold, M.V. 1999. Sustainable agriculture: definitions and terms. National Agricultural Library. Agricultural Research Service. USDA.
- Goldstein, J. 1975. The Emerging Economic Base for Low-Energy Agriculture, p. 540, *En* W. Jewell, ed. *Energy, Agriculture and Waste Management*. Ann Arbor Science, Ithaca, New York.
- Gómez-Limón, J., y J. Berbel. 2000. Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study. *Agricultural systems* 63:49-72.
- Gómez-Limón, J., M. Arriaza, y L. Riesgo. 2003. An MCDM analysis of agricultural risk aversion. *European Journal of Operational Research* 151:569-585.
- Hall, C.A.S. 2000. The Theories and Myths That Have Guided Development, p. 736, *En* C. A. G. Hall, et al., eds. *Quantifying sustainable Development. The Future of Tropical Economies*. Academic Press, New York.
- Hall, C.A.S., C.J. Cleveland, y R. Kaufman. 1986. Economics from an energy perspective, p. 577, *En* J. Wiley y N. Sons, eds. *The Ecology of the Economic Process Energy and Recourse Quality*, New York.
- Hansen, J.W. 1996. Is Agricultural Sustainability a Useful Concept? *Agricultural Systems* 50:117-143.
- Hayashi, K. 2000. Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives. *European Journal of Operational Research* 122:486-500.
- Huirne, R., M. Meuwissen, y M. Asseldonk. 2007. Importance of Whole-Farm Risk Management in Agriculture, p. 3-15 *Handbook Of Operations Research In Natural Resources*.
- Iguerabide, F. 2006. Testimonio de productor. Rhenania. JAT sistemas mixtos: La sustentabilidad es rentable. AACREA, Laboulaye.
- Jackson, W. 2002. Natural systems agriculture: a truly radical alternative. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88 111-117.
- 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.
- 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* 60:17-28.

- 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* 45:365-378.
- Lal, R. 2001. Managing world soils for food security and environmental quality, p. 155-192 *Advances in Agronomy*, Vol. Volume 74. Academic Press.
- 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* 102:235-246.
- Manning, R. 2004. The oil we Eat, Following the food chain back to Iraq. *Harper's Magazine*.
- Marín-Moreno, N. 2006. Sistemas mixtos. ¿Existen razones para mantenerlos? *JAT sistemas mixtos: La sustentabilidad es rentable*. AACREA, Laboulaye.
- Matson, P.A., W.J. Parton, A.G. Power, y M.J. Swift. 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277:504-509.
- Meyer-Aurich, A. 2005. Economic and environmental analysis of sustainable farming practices - a Bavarian case study. *Agricultural Systems* 86:190-206.
- 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* 33:225-236.
- Munda, G. 2005. Multiple Criteria Decision Analysis and Sustainable Development, p. 953-986 *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*.
- Osinski, E., J. Kantelhardt, y A. Heissenhuber. 2003. Economic perspectives of using indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98:477-482.
- Pacini, C., A. Wossink, G. Gerard, y H. Ruud. 2004a. Ecological-economic modelling to support multi-objective policy making: a farming systems approach implemented for Tuscany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102 349-364.
- Pacini, C., A. Wossink, G. Gerard, L. Omodei-Zorini, y H. Ruud. 2004b. The EU's Agenda 2000 reform and the sustainability of organic farming in Tuscany: ecological-economic modelling at field and farm level. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80:171-197.
- Perelman, M. 1975. The Real and Fictitious Economics of Agriculture and Energy, p. 540, *En* W. Jewell, ed. *Energy, Agriculture and Waste Management*. Ann Arbor Science, Ithaca, New York.
- Pimentel, D. 1975. World Food, Energy, Man and Environment, p. 540, *En* W. Jewell, ed. *Energy, Agriculture and Waste Management*. Ann Arbor Science, Ithaca, New York.
- 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:72-88.

- Rabinovich, J.E., y F. Torres. 2004. Caracterización de los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de Argentina [Online] <http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/5/LCL2155P/lcl2155e.pdf>
- Riesgo, L., y J. Gómez-Limón. 2006. Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural systems* 91:1-28.
- Rigby, D., P. Woodhouse, T. Young, y M. Burton. 2001. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. *Ecological Economics* 39:463-478.
- Romero, C. 1996. Análisis de las Decisiones Multicriterio. Isdefe, Madrid.
- Sarker, R.A., y M.A. Quaddus. 2002. Modeling a nationwide crop planning problem using a multi criteria decision making tool. *Computer and industrial engineering* 42:541-553.
- Satorre, E. 2003. Cambios en la agricultura pampeana. Sustentabilidad y nuevas tecnologías.
- 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.
- Sumpsi, J.M., F. Amador., y C. Romero. 1996. On farmer's objectives: a multicriteria approach. *European Journal of Operational Research* 96:64-71.
- Tamiz, M., J. Dylana, y C. Romero. 1998. Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research* 111 569±581.
- Tilman, D. 1998. The Greening of the Green Revolution. *Nature* 396:211-212.
- Tilman, D., K.G. Cassman, P.A. Matson, N. Rosamond, y P. Stephen. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.
- Tittonel, P. 2004. El carbono orgánico de los suelos del centro de Argentina. Tesis de Maestría en Ciencias, UNRC, Río Cuarto.
- Trigo, E.J., y E.J. Cap. 2003. The impact of the introduction of transgenic crops in argentinean agriculture. *AgBioForum* 6:87-94.
- Van Leeuwen, A.C.J., C. Köbrich, y M. Maino. 2001. Programación lineal para la elaboración de escenarios óptimos de uso de la tierra [Online]. Available by FAO.
- Viglizzo, E., y Z.E. Roberto. 1998. On Trade-Offs in low-input agroecosystems. *Agricultural systems* 56:285-264.
- Viglizzo, E., y E. Jobbágy. 2010. Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental.
- Viglizzo, E., F.C. Frank, L. Carren, E. Jobbágy, H. Pereyra, J. Clattz, D. Pince, y F. Ricardz. 2010. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global change Biology*.

- Viglizzo, E.F., Z.E. Roberto, F. Lértora, E. López Gay, y J.N. Bernardos. 1997. Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 66:61-70.
- 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* 83:65-81.
- West, T.O., y W. Post. 2002. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America* 66:1930-1946.
- Zander, P., y H. Kächele. 1999. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. *Agricultural Systems* 59:311-325.
- Zekri, S., y C. Romero. 1993. Public and Private Compromises in Agricultural Water Management. *Journal of Environmental Management* 37:281-290.

## **APÉNDICE A. COEFICIENTES DE CONTRIBUCIÓN Y RESTRICCIONES DE LOS MODELOS**

### **A.1.1 Metodologías para determinar los coeficientes de contribución**

#### **Pérdida de Suelo por Erosión**

La pérdida de suelo por procesos de erosión es uno de los indicadores ambientales más utilizados en la literatura especializada (ver capítulo II) y constituye uno de los problemas ambientales más relevantes en la región bajo estudio (Cisneros et al., 2004).

La **pérdida de suelo (PS)** es la cantidad de suelo removida por el agua y transportada desde un sitio particular, mientras **erosión de suelo (ES)** es la cantidad de sedimentos que llega a un sitio de interés. Las labranzas y tipo de cultivo determinan en primera medida la PS y esta es la variable relacionada con la productividad. La prácticas

de conservación de suelo y agua como terrazas y franjas buffer reducen la ES y por lo tanto la externalidad negativa de la agricultura.

La pérdida de suelo por erosión 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). Específicamente, en el centro-sur de la provincia de Córdoba la erosión de suelo 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).

La determinación de la pérdida de suelo por erosión se realiza utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo modificada (Cisneros et al., 2004; Foster, 2004). RUSLE 2 computa la pérdida de suelo anual promedio de cada día utilizando los parámetros de la ecuación A.1.

$$PS_i = r_i k_i l_i S c_i p_i \quad \text{Ecuación A.1}$$

Donde, PS = pérdida de suelo anual promedio para el día i-écimo,  $r_i$  = factor de erosividad,  $k_i$  = factor de erodabilidad del suelo,  $l_i$  = factor de longitud de la pendiente, S = factor de gradiente de pendiente,  $c_i$  = factor de cobertura,  $p_i$  = factor de prácticas de conservación, todas en el i-écimo día. Los valores para estos factores son promedios anuales para un día en particular (S es igual en todos los días).

El cómputo de pérdida de suelo y otros valores de erosión de suelo se realiza usando entradas de clima, suelo, topografía y prácticas de uso y manejo.

El **factor R** representa un índice de la erosividad de la precipitación de las lluvias para una determinada localidad. Se define como la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión. Es función de la cantidad de lluvia y su intensidad. Datos de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de 10 años, precipitaciones medias mensuales y distribución mensual de la intensidad de precipitación son requeridos para el cálculo de este parámetro. Para el presente estudio se utilizó un factor de  $3.850 \text{ MJ.mm}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  en ambos productores tomados de trabajos previos de Cisneros et al., (2004), que utilizan el método de Renard y Feimund.

El **factor K** representa el efecto combinado de la susceptibilidad del material al desprendimiento del suelo, transporte del sedimento y la cantidad y tasa de

escurrimiento por unidad de desprendimiento de suelo. Este factor depende de la clase hidrológica de suelos y de su textura:

1. Los suelos con alta proporción de arcilla tienen bajo K por su resistencia al desprendimiento
2. Los suelos arenosos también tienen bajo K porque su material es menos transportado.
3. Los suelos de textura media tienen valores moderados de K porque son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos. Los suelos con alto contenidos de limo son especialmente susceptibles a la erosión, ya que el sedimento es fácilmente desprendido de estos suelos, los cuales también tienden a sellarse, producen altas tasas de escurrimiento y sedimentos finos que son fácilmente transportables.

Para los casos bajo estudio, con los datos de las variables nomográficas de entrada de la Tabla 1 se estima una la erodabilidad de 0,034 T/ha<sup>-1</sup>.unidad de erosividad<sup>1</sup> para el campo 1 y 0,04 T/ha<sup>-1</sup>.unidad de erosividad<sup>1</sup> para el campo 2.

**Tabla 1: Datos de suelo para la estimación del factor de erodabilidad del suelo.**

Serie de Suelos	Productor 1	Productor 2
	Olaeta	Buchardo
Textura	Franco-Arenosa	Franco-Arenosa fina
Arcilla (%)	8,6	16,5
Limo (%)	22,4	34,7
Arena muy fina (%)	65	24,9
Arena fina (%)	3	1,1
Grupo hidrológico <sup>1</sup>	B	B
Erodabilidad (T/ha <sup>-1</sup> unidad de erosividad <sup>1</sup> )	0,034	0,040

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

La combinación de los factores R y K indica la erosión de suelo para una determinada localidad en una parcela estándar de 22,1 metros y 9% de gradiente de

---

1: El Grupo Hidrológico es un parámetro hidrológico de un suelo que resume el grado mínimo de infiltración obtenido en un suelo desnudo, después de una prolongada mojadura. Se consideran condiciones de la superficie (definen el grado de infiltración) y de los horizontes de suelo (definen el grado de transmisión o permeabilidad de los diferentes horizontes). Los Grupos hidrológicos son cuatro (A/B/C/D), de mayor a menor en su grado de infiltración y transmisión de agua (GRUPO A: suelos profundos, bien o excesivamente drenados; texturas arenosas, gravas, gravillas, etc, GRUPO B: suelos moderadamente profundos, sin barreras físicas importantes, materiales más finos que arenas, GRUPO C: presencia de capas u horizontes que limitan la infiltración y transmisión del agua; texturas más finas; GRUPO D: suelos someros o con capa densificada e impermeable cercana a la superficie; texturas arcillosas con predominio de arcillas expandibles)

pendiente, mantenido en continuo barbecho mecánico, con labranza a favor de la pendiente ( $130,9 \text{ T.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  para el productor 1 y  $154 \text{ T.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  para el productor 2).

Los factores **L** y **S** indican la topografía. **L** es la longitud de la pendiente, mientras que **S** indica el gradiente de pendiente. Cabe destacar que la longitud de la pendiente no es demasiado sensible para situaciones con gradientes de pendiente menores a 2% como las que se encuentran bajo estudio.

La erosión ocurre cuando el suelo es dejado sin cobertura y expuesto al impacto de la gota de lluvia. Cambios en el uso y manejo de la tierra pueden reducir de forma importante la pérdida de suelo por erosión.

El factor **C** refiere a cómo la vegetación y la condición de suelo afectan la erosión de suelo. Incluye información de ciclo de crecimiento, producción de biomasa y cobertura por parte de los cultivos y pastos, índice de cosecha y de restos, porcentaje de cobertura logrado con cada resto de cultivo, efecto de las labranzas sobre la cobertura y rugosidad del suelo. El factor **C** ajusta la erosión predicha por la relación entre erosividad y erodabilidad (**R.K**) de acuerdo a la cobertura y el manejo.

El factor **P** captura la reducción del proceso de erosión ante laboreos en contorno, franjas buffer de pasto en contorno, terrazas y pequeños embalses.

La Tabla 2 resume los factores constantes para el cálculo de la pérdida de suelo en los dos productores.

**Tabla 2: Factores constantes de la ecuación universal de la pérdida de suelo.**

	Productor 1		Productor 2	
	SI	US	SI	US
R	3850	226	3850	226
K	$0,034 \text{ T.ha}^{-1}.\text{R}^{-1}$	$0,26 \text{ T.ac}^{-1}.\text{R}^{-1}$	$0,040 \text{ T.ha}^{-1}.\text{R}^{-1}$	$0,3 \text{ T.ac}^{-1}.\text{R}^{-1}$
R.K	$130,9 \text{ T.ha}^{-1}$	$58,8 \text{ T.ac}^{-1}$	$154 \text{ T.ha}^{-1}$	$67,8 \text{ T.ac}^{-1}$
L	100 m		100 m	
S	1%		0,75%	

SI; Sistema internacional, unidades métricas; US: sistema estadounidense. R = factor de erosividad, K = factor de erodabilidad del suelo, L = factor de longitud de la pendiente, S = factor de gradiente de pendiente.

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

Teniendo en cuenta que no se incluyeron en el trabajo posibilidades de prácticas de conservación de suelo y agua, las variables más importantes que influyeron en los resultados de este atributo tuvieron que ver con el factor **C**, específicamente las relacionadas al tipo y cantidad de residuo dejados por los cultivos en función de sus

rendimientos (Tabla III-4 del cuerpo del trabajo) y al tipo de labranza. Para el productor 1, en ambos periodos se utilizó siembra directa, a excepción del cultivo de maní que se realizaba en el periodo 1 con labranza reducida con dos pasadas de rastra de discos y labor de arrancada, mientras que el productor 2 pasó de labranza reducida con una pasada de rastra de discos por cultivo a siembra directa. En ambos casos, la orientación de los cultivos se asume independiente de la dirección de la pendiente.

Los resultados del modelo para pérdida de suelo por erosión por productor y por periodo se muestran en las Tablas 13 a 16 del presente apéndice.

### **Balance de Materia Orgánica del Suelo**

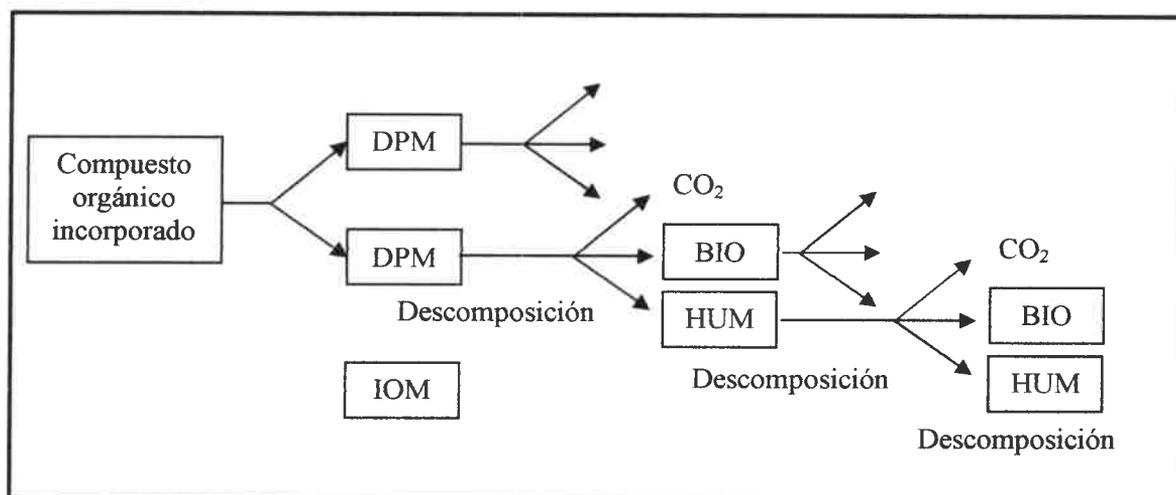
El balance de materia orgánica del suelo constituye el cambio anual en el contenido de materia orgánica del suelo. Se incluye teniendo en cuenta el carácter integrador de la fracción orgánica en términos de las funciones que definen calidad de suelos (Foley et al., 2005; Lal, 2007; Tittone, 2004).

Rothc-26.3 (Jenkinson y Coleman, 1999) es un programa de computación que realiza un modelo de reciclaje del Carbono orgánico en suelos bien drenados, permitiendo definir el efecto del tipo de suelo, cobertura, contenido de humedad y temperatura sobre el proceso de ciclado de carbono en el suelo (Jenkinson y Coleman, 2005). Este modelo, junto a Century, son los dos más utilizados para simular los cambios en el carbono en el suelo en regiones con clima templado (Davidson y Janssens, 2006).

Los datos de precipitación y evaporación son utilizados para calcular un déficit de presión de vapor del aire, el dato de temperatura del aire es usado como indicador de la temperatura del suelo donde ocurren las reacciones que afectan a la materia orgánica. El modelo también requiere los datos de textura del suelo para calcular la capacidad de almacenaje de agua de la capa superficial del perfil y la tasa en la que la materia orgánica se descompone. Además, se debe cargar la cantidad de residuos o eventualmente abonos que se agregan al suelo mensualmente como fuente para la descomposición.

## Estructura del modelo

El modelo separa a la materia orgánica en cuatro componentes activos y una pequeña parte inerte (IOM). Los cuatro componentes activos son material vegetal descomponible (DPM), material vegetal resistente (RPM), biomasa microbiana (BIO) y material orgánico humificado (HUM), que se descomponen a una tasa típica de cada material (Esquema 1), modificada por temperatura, humedad, cobertura de suelo y protección de arcilla.



**Esquema 1: estructura general del modelo Roth-C.** DPM: material vegetal descomponible, RPM: material vegetal resistente, BIO: biomasa microbiana, HUM: material orgánico humificado, IOM: fracción inerte.

Fuente: Jenkinson y Coleman, (2005)

Las condiciones iniciales sobre las que se corrió el modelo para los dos productores se muestran en la Tabla 3. Las relaciones entre las distintas fracciones de materia orgánica se obtuvieron como promedio de aquellas alcanzadas por el propio modelo en dos situaciones contrastantes: equilibrio con pastos y equilibrio con monocultivo de soja.

**Tabla 3: Condiciones iniciales para el cálculo de Roth-C.**

	Productor 1	Productor 2
% MO	1,30	1,78
PEA (Mg.m <sup>-3</sup> )	1,35	1,3
Profundidad horizonte superficial	0,2	0,2
Carbono orgánico total (Mg.ha <sup>-1</sup> )	20,3	26,8
DPM (Mg.ha <sup>-1</sup> )	0,33	0,43
RPM (Mg.ha <sup>-1</sup> )	3,25	4,28
BIO (Mg.ha <sup>-1</sup> )	0,37	0,49
HUM (Mg.ha <sup>-1</sup> )	14,41	19,00
IOM (Mg.ha <sup>-1</sup> )	2,0	2,64

Nota: los datos de inicio fueron tomados de análisis de suelo de los campos de los productores

Fuente: elaboración propia

Los valores de índice de cosecha (fracción cosechada/materia seca total producida) y las proporciones de aporte de carbono por mes utilizadas fueron tomadas de la literatura específica (Alvarez, 2006; Apezteguía, 2005; Tittonel, 2004) y de las propias bases de datos del programa (Jenkinson y Coleman, 1999; Jenkinson y Coleman, 2005) y se detallan en la Tabla 4 para cultivos agrícolas y en la Tabla 5 para pasturas, verdes de pastoreo directo y superficie dedicada al forraje conservado. El aporte de carbono de los residuos se establece en el 40%. Un detalle de los rendimientos de grano de cada variable de decisión puede encontrarse en las tablas 8 a 11.

**Tabla 4: Estimación de aportes de residuos para cultivos de cosecha.**

Cultivo	Índice de cosecha	Ene (%)	Feb (%)	Mar (%)	Abr (%)	May (%)	Jun (%)	Jul (%)	Ago (%)	Sep (%)	Oct (%)	Nov (%)	Dic (%)
Maíz/Sorgo	0,4	4	6	0	0	80	0	0	0	0	2,7	3,2	4
Soja/Girasol	0,38	11	2,6	0	0	80	0	0	0	0	0	1,3	5,1
Trigo	0,38	0	0	0	0	0	0	0	3,5	7,8	17,7	2,8	68,2
Maní	0,35	11,4	25	28,4	28,4	0	0	0	0	0	0	1,1	5,7
Maíz	0,40	3,5	4,3	4,3	6,5	87	0	0	0	0	0	0	2,9
2º/sorgo 2º													
Soja 2º	0,38	1,3	5,1	11	2,6	80	0	0	0	0	0	0	0

Nota: las salidas del programa son poco sensibles a la distribución de los residuos entre los meses

Fuente: elaboración propia

**Tabla 5: Estimación del aporte de residuos para pasturas, verdes y forrajes conservados.**

Cultivo	Producción materia seca (T.ha <sup>-1</sup> )	Índice de cosecha	Raíces/ biomasa aérea	Ene (%)	Feb (%)	Mar (%)	Abr (%)	May (%)	Jun (%)	Jul (%)	Ago (%)	Sep (%)	Oct (%)	Nov (%)	Dic (%)
Alfalfa	12,5/12 <sup>1</sup>	0,5	0,6	11,1	11,1	11,1	5,3	5,3	5,3	2,9	2,9	2,9	14	14	14
Verdeo invierno	3,4/3,7	0,8	0,35	0	0	0	11,1	11,1	11,1	16,7	16,7	16,7	5,5	5,5	5,5
Verdeo verano	*2	0,7		4	6	0	0	80	0	0	0	0	2,7	3,2	4
Maíz silo	*2	0,8		4	6	0	0	80	0	0	0	0	2,7	3,2	4
Heno alfalfa	12,5/12*	0,8	0,6	11,1	11,1	11,1	5,3	5,3	5,3	2,9	2,9	2,9	14	14	14

\*1: período 1/período 2 según datos de registros de los propios productores (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

\*2: la producción de MS se calculó a partir del rendimiento de grano de maíz e IC (Tabla III-4 y Tabla 4 de este apéndice respectivamente).

Nota: las salidas del programa son poco sensibles a la distribución de los residuos entre los meses

Fuente: elaboración propia

Los valores climáticos que se cargaron al modelo se muestran en la Tabla 6. Los datos de suelo que se utilizan corresponden a los porcentajes de las fracciones granulométricas, ya detallados en la Tabla 1 de este apéndice.

**Tabla 6: Precipitaciones y temperaturas medias mensuales utilizadas en Roth-C**

	Productor 1		Productor 2	
	Temperatura media del aire (°C)	Precipitaciones (mm)	Temperatura media del aire (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	22,3	107,7	23,4	126,9
Febrero	21,4	82,3	22,3	87,1
Marzo	19,3	93,3	20,7	144,8
Abril	15,8	90,6	16,2	99,8
Mayo	12,1	24,2	12,8	47,8
Junio	9,9	12,2	9,8	18,3
Julio	8,9	12,1	8,7	11,8
Agosto	10,7	10,3	11,4	20,5
Septiembre	13,5	28,0	13,7	47,8
Octubre	17,3	66,7	17,4	126,4
Noviembre	19,7	103,6	20,2	119,8
Diciembre	21,5	130,8	22,3	140,1

Nota: para el productor 1 corresponden a los datos de la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto (1997-2008), para el productor 2 de la estación Laboulaye, datos provistos por la cátedra de meteorología de la FAV (1974-2005). Fuente: elaboración propia

Los resultados del modelo para balance de materia orgánica por productor y por periodo se muestran en las Tablas 13 a 16 del presente apéndice.

## **Dependencia de Insumos Externos**

La dependencia de insumos externos es evaluada a través de la valoración en términos de energía de los insumos que se aportan al sistema, teniendo en cuenta que su reducción es una estrategia ampliamente reconocida para aumentar la sustentabilidad de los sistemas de producción (Montico et al., 2006; Viglizzo et al., 2001)

La dependencia de insumos externos se evaluó mediante la valoración de los parámetros energía directa<sup>2</sup> e indirecta<sup>3</sup> utilizada como insumos en los sistemas de producción, siguiendo la metodología propuesta por Hülsbergen et al., (2001). Los coeficientes de aporte de energía fueron relevados en la literatura y se resumen en la Tabla 7.

---

<sup>2</sup>: Gasoil utilizado en los procesos de producción.

<sup>3</sup>: Semilla (incluye procesamiento, almacenamiento y distribución), fertilizantes, pesticidas y máquinas.

**Tabla 7: Coeficientes de gasto de energía de operaciones de maquinaria, fertilizantes, semillas y agroquímicos.**

	Unidad	Mj.unidad <sup>1</sup>	Fuente
<b>Operaciones de maquinaria</b>			
Pulverización	ha	99,5	(Montico et al., 2006)
Disco	ha	259,8	(Montico et al., 2006)
Cinzel	ha	281,4	(Montico et al., 2006)
SD grano grueso	ha	368,0	(Montico et al., 2006)
SD grano grueso más fertilización	ha	441,6	Se asume un 20% extra de gasto energético respecto a la SD sin fertilización
SD grano fino	ha	545,0	(Montico et al., 2006)
SD grano fino más fertilización	ha	654,0	Se asume un 20% extra de gasto energético respecto a la SD sin fertilización
Voleo de fertilizante	ha	57,0	
Cosecha grano grueso	ha	562,9	(Montico et al., 2006)
Cosecha grano fino	ha	627,8	(Montico et al., 2006)
Arrollado	ha	3.229,3	<sup>4</sup>
Silaje	Ha	2.402,0	<sup>5</sup>
<b>Fertilizante</b>			
N	Kg	77,4	(Pereira Dos Santos et al., 1999)
P	Kg	14,0	(Pereira Dos Santos et al., 1999)
K	Kg	9,7	(Pereira Dos Santos et al., 1999)
S	Kg	10,4	(Pereira Dos Santos et al., 1999)
<b>Semilla</b>			
Soja	Kg	31,7	(Heichel, 1980)
Trigo	Kg	12,5	(Heichel, 1980)
Maíz	Kg	33,0	(Montico et al., 2006)
Sorgo	Kg	33,0	(Montico et al., 2006)
<b>Herbicidas</b>	Unidad de i.a.	417,6	(Pimentel, 1980)
<b>Insecticidas</b>	Unidad de i.a.	363,3	(Pimentel, 1980)
<b>Fungicidas</b>	Unidad de i.a.	271,3	(Pimentel, 1980)

Fuente: elaboración propia en base a la bibliografía detallada en la tabla

## Capital de Trabajo

Se utilizaron los gastos directos efectivos (AACREA, 1990) como indicador del capital de trabajo necesario para llevar adelante un ciclo de producción, asumiendo que los efectos de comercialización y financiamiento son equivalentes para todas las actividades. Los gastos directos efectivos incluyen labores, semillas, agroquímicos, fertilizantes, seguro, cosecha, alquiler para las actividades agrícolas y la producción de

<sup>4</sup>: Estimación propia asumiendo tres cortes (0,4 UTA ) y arrollados (2,4 UTA) y un consumo de gasoil de 9,7 litros/ha

<sup>5</sup>: Estimación propia asumiendo 6,25 UTAS/ha

pasturas (en el caso de pasturas perennes, también se agrega el gasto de implantación anualizado de la pradera), gastos de personal y sanidad para las actividades ganaderas.

Los resultados del modelo para capital de trabajo por productor y por periodo se muestran en las Tablas 13 a 16 del presente apéndice.

## Margen Bruto Global

El Margen Bruto Global (MBG) es el indicador económico más profusamente utilizado en la bibliografía (ver capítulo II) como medida del retorno de un sistema de producción. MBG en el modelo se calcula a partir de la superficie dedicada a cada cultivo agrícola por su aporte de margen bruto sumado a la cantidad de cabezas de invernada producidas anualmente por su margen bruto (Ecuación A.2):

$$MBG = \sum_{i=1}^n MBA_i x_i + \sum MBB \text{ cab} \quad \text{Ecuación A.2}$$

Donde MBG es el margen bruto global medido en \$.año<sup>-1</sup>, MBA<sub>i</sub> es margen bruto de la actividad agrícola (o pasturas) *i* en \$.ha<sup>-1</sup>, x<sub>i</sub> es la variable superficie asignada a cada actividad agrícola o pasturas, MBB es el margen bruto bovino en \$.cabeza producida<sup>-1</sup>, cab es la variable cantidad de cabezas bovinas producidas.año<sup>-1</sup>.

Este atributo se tomó de los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b) se elaboró para generar los coeficientes de contribución del modelo. Para las actividades agrícolas y pasturas, se utiliza el margen bruto por hectárea de la actividad y la variable de decisión corresponde a la cantidad de hectáreas asignadas a la misma. Sean x<sub>1</sub>,...,x<sub>n</sub> las actividades de interés, el coeficiente de contribución margen bruto de las actividades agrícolas y de las pasturas (MBA<sub>i</sub>) se calcula como sigue:

$$MBA_i = Q_i \cdot P_i - \beta_i \quad \text{Ecuación A.3}$$

Donde MBA<sub>i</sub> es el margen bruto de la actividad agrícola *i*, medido en \$.ha<sup>-1</sup>, Q<sub>i</sub>: corresponde al rendimiento físico de los cultivos, P<sub>i</sub>: Precio venta realizado de la producción neto de gastos de comercialización, β<sub>i</sub>: gastos directos totales por hectárea (suma de gastos de labores, semillas, agroquímicos, fertilizantes, cosecha, seguro, alquiler)

En tanto, para la invernada bovina, se calcula el margen bruto bovino por cabeza producida anualmente, y la variable de decisión del modelo es la cantidad de cabezas

producidas en un año<sup>6</sup>. El coeficiente de contribución margen bruto de las actividades ganaderas bovinas (MBB) se calcula como sigue:

$$\text{MBB} = [(Q1.P1) - (Q2.P2) - \beta G] / \text{cab} \quad \text{Ecuación A.4}$$

Donde MBB es el margen bruto de la invernada bovina por productor por periodo, medidos en \$.cabeza producida<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, Q1 y P1 corresponden a la cantidad de kilogramos y precio neto de gastos comerciales respectivamente de las salidas por ventas anuales, Q2 y P2 corresponden a la cantidad de kilogramos y precio neto de gastos comerciales respectivamente de las entradas por compras anuales,  $\beta G$  son los gastos directos de personal y sanidad en \$.año<sup>-1</sup>, cab es la cantidad de cabezas producidas.año<sup>-1</sup>.

Los resultados del modelo para margen bruto por productor y por periodo se muestran en las Tablas 13 a 16 del presente apéndice.

### Riesgo Económico

El riesgo económico se define como la incertidumbre sobre los resultados que pueden involucrar pérdidas económicas (Portillo et al., 2005). Este atributo puede medirse como la dispersión de los retornos en relación al retorno promedio y es destacado como el indicador económico por excelencia junto a la propia medida de retorno promedio (deVoil et al., 2006).

Aplicando la varianza en las series de márgenes brutos de los productores en los periodos 1994-2006, según la metodología propuesta por Portillo et al., (2005) se obtiene una medida de riesgo:

$$\text{VarMB} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_i x_j \sigma_{ij} \quad \text{Ecuación A.5}$$

Donde  $\sigma_{ij}$  son las covarianzas entre los márgenes brutos de las  $n$  actividades.

La matriz de varianza/covarianza de márgenes brutos se muestra en las Tablas 17 y 18 para productor 1 y 2 respectivamente.

---

<sup>6</sup>: de esta manera el modelo puede elegir la actividad y su tamaño, no restringiéndose a unidades reales de los productores. Se asume en la modelación que la diferencia de inventario de hacienda es cero.

## A.1.2 Resultados físicos

La Tabla 8 muestra los resultados físicos de los cultivos agrícolas tenidos en cuenta en los modelos. Los mismos provienen de los propios registros de los productores y, en los casos en los que en los períodos considerados no se sembró el cultivo, de los registros de los campos CREA de su grupo.

**Tabla 8: Rendimientos físicos de los cultivos tomados en los modelos**

Productor Periodo	Rendimiento (kg/ha)					
	1	1			2	
Planteo tecnológico		ALTO	PROMEDIO	BAJO	1	2
Cultivo, tenencia						
Soja, propio	1.957	4.789	4.183	4.141	776	3.100
Soja, alquilado	1.679	4.095	3.577	3.541	744	2.690
Maíz, propio	4.770	11.607	11.201	9.804	3.400	8.290
Maíz, alquilado	3.462	9.919	9.572	8.378	3.271	7.970
Trigo-soja, propio	1.520 - 857	2.616 - 3.500	2.413 - 3.060	1.719 - 3.030	1.897 - 497	2.850-2.880
Trigo-soja, alquilado	1.520 - 750	2.236 - 2.990	2.062 - 2.620	1.478 - 2.590	1.715 - 0,434	2.330-2.610
Trigo-Maíz, propio		2.616 - 6.010	2.413 - 5.800	1.729 - 5.080	1.897 - 1.810	2.850 - 4.410
Trigo-Maíz, alquilado		2.236 - 5.140	2.062 - 4.960	1.478 - 4.340	1.715 - 1,352	2.740 - 4.240
Trigo-Sorgo, propio					1.897 - 1.352	
Trigo-Sorgo, alquilado					1.715 - 1.352	
Avena Semilla – Soja, Propio						2.220-2.560
Avena Semilla – Soja, Alquilado						1.890-2.610
Girasol, propio	2.060				1.780	2.410
Girasol, alquilado	1.866				1.444	1.890
Sorgo, propio	1.341				2.827	
Sorgo, alquilado	1.341				2.720	
Maní, propio	2.490					
Maní, alquilado	1.740					
Invernada, propio	370				365	478
Invernada, alquilado					365	478

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

La Tabla 9 indica el planteo ganadero de cada productor en cada periodo y las demandas ganaderas en equivalente vaca (EV) por animal producido.

**Tabla 9: Resultados planteo ganadero, productor 1, periodo 1, productor 2, periodos 1 y 2.**

Campo		1	2	2
Periodo		1	1	2
Producción total de carne	kilogramos	77.695	610.197	727.070
Superficie efectiva ganadera	has	212	1.679	1.495
Existencia media hacienda	cabezas totales	359	3.273	3.878
Carga	cabezas.ha ganadera <sup>-1</sup>	1,70	1,96	2,59
Peso medio	Kg.cab <sup>-1</sup>	335	313	311
Carga	Kg.ha <sup>-1</sup>	571,7	612	807
Producción de carne	Kg.ha <sup>-1</sup>	365	364	484,2
Aumento diario de peso	gr.animal <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup>	586	513,4	511,9
Producción de carne	Kg/cabeza	214	187,4	186,9
Peso de compra	kg/cabeza	130	132,98	175,23
Peso de venta	kg/cabeza	447	467,88	448,47
Duración de la invernada	Meses	18,03	22,51	18,4
<b>Demandas ganaderas</b>				
Verano	EV.animal producido <sup>-1</sup>	95	98	133
Otoño	EV.animal producido <sup>-1</sup>	120	133	151
Invierno	EV.animal producido <sup>-1</sup>	144	150	105
Primavera	EV.animal producido <sup>-1</sup>	90	164	86

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

Las tablas 10 a 12 muestran los rendimientos cosechables de las pasturas, tomados de los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b) y sus correspondientes aportes de raciones por estación.

**Tabla 10: Aporte de raciones, periodo 1, campo 1.**

Aportes ganaderos	Verde Invierno	Alfalfa en implantación	Alfalfa en producción	Alfalfa degradada	Verde verano PROPIA	Verde verano ALQUILA
Rendimiento cosechable (kg.ha <sup>-1</sup> )	2.750	4.375	6.250	3.125	7.179	5.210
Verano (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	0,0	165,2	236,0	118,0	232,3	168,6
Otoño (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	108,8	78,2	111,8	55,9	38,7	28,1
Invierno (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	163,2	43,5	62,1	31,0	0,0	0,0
Primavera (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	54,4	208,7	298,1	149,0	116,2	84,3
<b>TOTAL (Raciones.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>326,4</b>	<b>495,6</b>	<b>707,9</b>	<b>354,0</b>	<b>387,2</b>	<b>281,0</b>

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

**Tabla 11: Aporte de raciones, periodo 1, campo 2.**

Aportes ganaderos	Verdeo Invierno	Alfalfa en implantación	Alfalfa en producción	Alfalfa degradada	Verdeo verano PROPIA	Verdeo verano ALQUILA
Rendimiento cosechable (kg.ha <sup>-1</sup> )	2.750	4.375	6.250	3.125	5.117	4.923
Verano (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	0,0	165,2	236,0	118,0	232,3	168,6
Otoño (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	108,8	78,2	111,8	55,9	38,7	28,1
Invierno (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	163,2	43,5	62,1	31,0	0,0	0,0
Primavera (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	54,4	208,7	298,1	149,0	116,2	84,3
<b>TOTAL (Raciones.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>326,4</b>	<b>495,6</b>	<b>707,9</b>	<b>354,0</b>	<b>276,0</b>	<b>265,5</b>

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

**Tabla 12: Aporte de raciones, periodo 2, campo 2**

Aportes ganaderos	Verdeo Invierno	Alfalfa en implantación	Alfalfa en producción	Alfalfa degradada	Verdeo verano PROPIA	Verdeo verano ALQUILA
Rendimiento cosechable (kg.ha <sup>-1</sup> )	3.000	4.200	6.000	3.000	9.980	9.601
Verano (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	0,0	158,6	226,5	113,3	323,0	310,7
Otoño (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	118,7	75,1	107,3	53,7	53,8	51,8
Invierno (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	178,0	41,7	59,6	29,8	0,0	0,0
Primavera (Raciones.ha <sup>-1</sup> )	59,3	200,3	286,2	143,1	161,5	155,4
<b>TOTAL (Raciones.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>356,0</b>	<b>475,7</b>	<b>679,6</b>	<b>339,8</b>	<b>538,3</b>	<b>517,8</b>

Fuente: elaboración propia en base a los registros de los productores bajo estudio (CRG, 2007a; CRG, 2007b)

### A.1.3. Coeficientes de contribución

Los coeficientes de contribución corresponden a los aportes marginales que realiza cada unidad de variable de decisión para los atributos bajo evaluación. Para el periodo 2 se considera un valor de la tierra cedida en alquiler de 12 qq de soja por hectárea, con un precio bruto de 66,3 \$c/qq (promedio para el período 2002-05). El capital de trabajo y riesgo de la actividad en este caso se igualan a cero y se asume que quien utiliza la tierra obtiene los peores indicadores ambientales dentro del rango de los obtenidos por el productor.

#### **Productor 1**

Las Tabla 13 y Tabla 14 resumen los coeficientes de contribución de las distintas actividades para los periodos 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 13: Coeficientes de contribución, productor 1, periodo 1 (1994-97)**

Cultivo	Tenencia	Rendimiento (T.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> )	PS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	BMOS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	DE (MJ.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Soja	Propia	1,957	543,9	647,1	4,3	-1,56	4 888
	Alquilada	1,679	6,0	1.015,7	0	0	0
Maíz	Propia	4,770	770,9	651,8	2,0	-0,27	3.948
	Alquilada	3,462	179,0	884,6	0	0	0
Trigo	Propia	1,520	207,4	444,9	5,5	-1,17	4.959
	Alquilada	1,520	47,0	549,3	0	0	0
Trigo-soja	Propia	1,520/0,857	410,4	878,4	2,7	-0,29	9.847
	Alquilada	1,520/0,750	15,3	1.133,9	0	0	0
Girasol	Propia	2,056	442,3	731,8	6,2	-1,51	2.342
	Alquilada	1,866	152,2	913,7	0	0	0
Sorgo	Propia	1,341	-313,5	594,1	3,9	-1,95	2.342
	Alquilada	1,341	-392,1	672,7	0	0	0
Maní	Propia	2,490	1.234,4	1.267,3	31,0	-2,10	8.000
	Alquilada	1,744	96,4	1.674,3	0	0	0
<b>raciones.ha<sup>-1</sup></b>							
Verdeo verano	Propia	387	-130,5	130,5	11,0	-1,95	2.342
	Alquilada	281	-130,5	130,5	0	0	0
Verdeo invierno	Propia	356	-354,2	354,2	7,2	-1,17	1.928
	Alquilada	356	-354,2	354,2	0	0	0
Alfalfa implantación	Propia	680	-97,8	97,8	0,4	0,57	1.227
	Alquilada	680	-97,8	97,8	0	0	0
Alfalfa producción	Propia	680	-97,8	97,8	0,4	0,57	531
	Alquilada	680	-97,8	97,8	0	0	0
Alfalfa degradada	Propia	680	-97,8	97,8	0,4	0,57	266
	Alquilada	680	-97,8	97,8	0	0	0
Heno alfalfa	Propia	1.080	-687,3	687,3	0,4	-0,79	3.760
	Alquilada	1.080	-687,3	687,3	0	0	0
Silo maíz	Propia	993	-1.180,7	1.180,7	5,6	-2,21	6.350
	Alquilada	721	-1.180,7	1.180,7	0	0	0
Suplementa grano	Propia	718	-651,8	651,8	2,0	0,33	4.343
	Alquilada	521	-651,8	651,8	0	0	0
<b>kg.cab<sup>-1</sup>      \$.cab<sup>-1</sup>      \$.cab<sup>-1</sup></b>							
Invernada	Propia	214	402,6	178,7			2
	Alquilada	214	114,3	292,6			0

Fuente: elaboración propia

**Tabla 14: Coeficientes de contribución, productor 1, período 2 (2003-05)**

Cultivo	Tenencia	Planteo tecnológico	Rendimiento (T.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> )	PS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	BMOS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	DE (MJ.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Soja de Primera	Propia	Alto	4,789	1.785	777	1,5	-0,1	7.681
		Medio	4,183	1.530	708	1,6	-0,4	7.531
		Bajo	4,141	1.520	695	1,6	-0,4	7.481
	Alquila	Alto	4,095	1.146	1.045	0	0	0
		Medio	3,577	840	976	0	0	0
		Bajo	3,541	931	963	0	0	0
Maíz de Primera	Propia	Alto	11,607	1.135	1.315	0,7	3,1	14.405
		Medio	11,201	1.106	1.258	0,7	2,9	12.625
		Bajo	9,804	983	1.087	0,8	2,2	7.284
	Alquila	Alto	9,919	464	1.630	0	0	0
		Medio	9,572	448	1.573	0	0	0
		Bajo	8,378	367	1.401	0	0	0
Trigo – Soja	Propia	Alto	2,616 – 3,500	1.534	1.414	1,2	1,6	18.177
		Medio	2,413 – 3,060	1.544	1.244	1,4	0,9	16.750
		Bajo	1,729 – 3,030	1.244	1.086	1,7	0,5	14.713
	Alquila	Alto	2,236 – 2,990	691	1.608	0	0	0
		Medio	2,062 – 2,620	562	1.479	0	0	0
		Bajo	1,478 – 2,590	495	1.351	0	0	0
Trigo – Maíz	Propia	Alto	2,616 – 6,010	469	2.100	1,0	2,4	26.236
		Medio	2,413 – 5,800	639	1.947	1,1	2,1	23.030
		Bajo	1,729 – 5,080	309	1.647	1,5	1,2	15.651
	Alquila	Alto	2,236 – 5,140	-499	2.281	0	0	0
		Medio	2,062 – 4,960	-463	2.153	0	0	0
		Bajo	1,478 – 4,340	-526	1.903	0	0	0
Cede en alquiler*				795	0	1,6	-0,4	7.481

\*: para la tierra cedida en alquiler, se asume un uso similar a Soja de primera con planteo tecnológico bajo.

Fuente: elaboración propia

## Productor 2

Las Tabla 15 y Tabla 16 muestran los coeficientes de contribución de las distintas actividades para los periodos 1 y 2 respectivamente.

Tabla 15: Coeficientes de contribución, productor 2, periodo 1 (1994-97)

Cultivo	Tenencia	Rendimiento (T.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> )	PS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	BMOS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	DE (MLha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Soja	Propia	0,776	86,8	440,2	13,0	-3,67	4.888
	Alquilada	0,744	-88,4	593,8	0	0	0
Maíz	Propia	3,400	278,4	468,9	6,5	-2,22	3.948
	Alquilada	3,271	88,4	630,6	0	0	0
Trigo	Propia	1,897	350,7	309,9	7,0	-2,82	4.959
	Alquilada	1,715	102,1	495,3	0	0	0
Trigo-soja	Propia	1,897 - 0,497	307,7	682,9	14,0	-1,66	9.847
	Alquilada	1,715 - 0,434	-68,0	767,7	0	0	0
Girasol	Propia	1,797	696,6	376,3	14,0	-3,14	2.342
	Alquilada	1,444	286,3	576,0	0	0	0
Sorgo	Propia	2,827	328,6	306,9	6,8	-2,55	2.342
	Alquilada	2,720	159,3	452,2	0	0	0
Trigo-maíz	Propia	1,897 - 1,810	207,6	787,4	1,9	-1,04	8.907
	Alquilada	1,715 - 1,740	110,1	869,9	0	0	0
Trigo-sorgo	Propia	1,897 - 1,352	395,7	575,5	1,9	-1,04	7.301
	Alquilada	1,715 - 1,352	60,1	847,8	0	0	0
Verdeo invierno-soja	Propia	- 1,352	-169,9	373,0	14,0	-2,32	6.816
	Alquilada	- 1,352	-304,9	463,0	0	0	0
Lloron	Propia	2,633	212,8	102,7	0,2	0,28	300
Festuca	Propia	0,228	302,8	221,9	2,7	0,28	600
<b>raciones.ha<sup>-1</sup></b>							
Verdeo verano	Propia	276	-130,5	130,5	11,0	-1,95	2.342
	Alquilada	265	-130,5	130,5	0	0	0
Verdeo invierno	Propia	356	-148,0	148,0	12,0	-3,74	1.928
	Alquilada	356	-148,0	148,0	0	0	0
Alfalfa implantación	Propia	680	-80,8	80,8	0,4	1,69	1.227
	Alquilada	680	-80,8	80,8	0	0	0
Alfalfa producción	Propia	680	-80,8	80,8	0,4	1,69	531
	Alquilada	680	-80,8	80,8	0	0	0
Alfalfa degradada	Propia	680	-80,8	80,8	0,4	1,69	265
	Alquilada	680	-80,8	80,8	0	0	0
Heno alfalfa	Propia	1.080	-670,3	670,3	0,4	-1,75	3.760
	Alquilada	1.080	-670,3	670,3	0	0	0
Silo maíz	Propia	512	-931,5	931,5	9,6	-3,45	6.350
	Alquilada	492	-931,5	931,5	0	0	0
Suplementa grano	Propia	708	-468,9	468,9	6,5	-2,22	4.343
	Alquilada	681	-468,9	468,9	0	0	0
		<b>kg.cab<sup>-1</sup></b>	<b>S.cab<sup>-1</sup></b>	<b>S.cab<sup>-1</sup></b>			
Invernada	Propia	187,4	606,0	81,7			
	Alquilada	187,4	413,4	274,3			

Fuente: elaboración propia



Periodo 2

Tabla 16: Coeficientes de contribución, productor 2, periodo 2 (2004-06)

Cultivo	Tenencia	Rendimiento (T.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> )	PS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	BMOS (T.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	DE (MJ.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Soja	Propia	3,100	1,202,9	521,5	3,0	-2,03	5.238
	Alquila	2,690	685,0	984,2	0	0	0
Maíz	Propia	8,290	851,6	896,3	1,3	0,56	4.745
	Alquila	7,970	321,5	1.360,3	0	0	0
Trigo	Propia	2,850	403,4	508,5	3,7	-0,87	7.887
	Alquila	2,330	-145,3	909,3	0	0	0
Trigo-soja	Propia	2,850 - 2,880	1.676,2	977,0	1,2	0,61	13.125
	Alquila	2,330 - 2,610	669,2	1.199,2	0	0	0
Girasol	Propia	2,410	1.080,7	568,1	5,0	-2,38	6.606
	Alquila	1,940	293,1	1.032,1	0	0	0
Avena semilla	Propia	2,220	207,3	554,5	4,6	-1,47	5.652
	Alquila	1,890	-262,6	810,3	0	0	0
Trigo - maíz	Propia	2,850 - 4,410	924,6	1.120,2	1,1	1,27	12.632
	Alquila	2,740 - 4,240	212,8	1.446,1	0	0	0
Avena semilla-soja	Propia	2,220 - 2,880	1.330,5	1.023,1	1,6	0,01	10.890
	Alquila	1,890 - 2,610	290,6	1.487,0	0	0	0
Verdeoinvierno -soja	Propia	2,880	844,8	468,6	4,6	-1,1	10.290
	Alquila	2,610	328,6	690,8	0	0	0
<b>raciones.ha<sup>-1</sup></b>							
Verdeoverano	Propia	538	-245,9	245,9	2,2	0,49	4.745
	Alquila	517	-245,9	245,9	0	0	0
Verdeoinvierno	Propia	356	-278,4	278,4	6,3	-2,86	5.052
	Alquila	356	-278,4	278,4	0	0	0
Alfalfa en implantación	Propia	680	-162,1	162,1	0,4	1,47	3.084
	Alquila	680	-162,1	162,1	0	0	0
Alfalfa en producción	Propia	680	-162,1	162,1	0,4	1,47	467
	Alquila	680	-162,1	162,1	0	0	0
Alfalfa degradada	Propia	680	-162,1	162,1	0,4	1,47	233
	Alquila	680	-162,1	162,1	0	0	0
Heno alfalfa	Propia	1.037	-733,2	733,2	0,4	-1,94	3.696
	Alquila	1.037	-733,2	733,2	0	0	0
Silo de Maíz	Propia	1.380	-1.596,3	1.596,3	4,7	-0,47	8.441
	Alquila	1.328	-1.596,3	1.596,3	0	0	0
Suplementa grano	Propia	1.247	-896,3	896,3	1,3	0,56	5.219
	Alquila	1.200	-896,3	896,3	0	0	0
		<b>kg.cab<sup>-1</sup></b>	<b>\$.cab<sup>-1</sup></b>	<b>\$.cab<sup>-1</sup></b>			
Invernada	Propia	477,7	529,4	101,9			
	Alquila	477,7	267,4	363,9			

Fuente: elaboración propia

*Riesgo económico. Matriz de covarianza*

Las Tabla 17 y Tabla 18 muestran las matrices de covarianza de los residuos del MBG para los productores 1 y 2 respectivamente.



Tabla 17: Matriz de covarianza de MB. Productor 1.

	<i>Maíz</i>	<i>Soja</i>	<i>Trigo</i>	<i>Maní</i>	<i>Girasol</i>	<i>Invernada</i>	<i>Sorgo</i>	<i>Trigo-Soja</i>	<i>Trigo-Maíz</i>
<i>Maíz</i>	<b>229.789</b>								
<i>Soja</i>	106.236	<b>164.130</b>							
<i>Trigo</i>	37.146	10.739	<b>142.111</b>						
<i>Maní</i>	204.909	245.066	-88.624	<b>943.998</b>					
<i>Girasol</i>	36.613	60.138	3.171	46.904	<b>132.379</b>				
<i>Invernada</i>	1.510	1.713	8.295	3.541	698	<b>20.028</b>			
<i>Sorgo</i>	55.148	8.480	-28.582	-23.711	12.480	-3.113	<b>55.148</b>		
<i>Trigo-soja</i>	66.844	54.672	111.094	182.137	63.471	301	14.621	<b>215.621</b>	
<i>Trigo-Maíz</i>	165.430	81.999		-399.942				404.155	<b>650.433</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 18: Matriz de covarianza de MB. Productor 2

	<i>Soja</i>	<i>Trigo-Soja</i>	<i>Maíz</i>	<i>Trigo</i>	<i>Girasol</i>	<i>Trigo-Maíz</i>	<i>Invernada</i>	<i>Sorgo</i>	<i>Trigo-sorgo</i>	<i>Festuca</i>	<i>P. Llorón</i>	<i>Avena</i>
<i>Soja</i>	<b>130.766</b>											
<i>Trigo-soja</i>	98.762	<b>162.061</b>										
<i>Maíz</i>	143.565	107.083	<b>293.138</b>									
<i>Trigo</i>	-395	43.418	5.461	<b>48.375</b>								
<i>Girasol</i>	-652	-2.456	15.822	23.865	<b>113.092</b>							
<i>Trigo-maíz</i>	11.963	25.611	29.318	16.467	6.467	<b>10.095</b>						
<i>Invernada</i>	-20.528	-7.215	-15.987	8.295	1.768	5.623	<b>20.028</b>					
<i>Sorgo</i>	17.530	14.621	-6.127	29	-18.458	-1.364	-3.113	<b>12.830</b>				
<i>Trigo-sorgo</i>	-2.390	33.495	8.369	59.429	-172	22.112	17.667	3.529	<b>68.698</b>			
<i>Festuca</i>	-1.581	68.669	-19.178	-6.178	-50.967	-2.029	835	-26.516	-37.169	<b>131.815</b>		
<i>P.Llorón</i>	13.396	-45.942	14.212	-66.751	-14.522	-23.733	-24.295	-2.249	-80.435	61.705	<b>97.279</b>	
<i>Avena</i>	60.119	63.086	127.295	15.244	7.173	23.958	20.607					<b>75.292</b>

Fuente: elaboración propia

#### **A.1.4. Restricciones del modelo.**

Las restricciones del modelo ponen límite al TDA por la disponibilidad de recursos (tierra, capital y mano de obra), la capacidad de manejo empresarial y relaciones técnicas. La expresión formal de las restricciones se muestra en el Capítulo III:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (\text{Ecuación III.2})$$

La Inecuación III.2 representa las  $m-q$  restricciones. En las restricciones,  $a_{ij}$  son los coeficientes técnicos y  $b_i$  muestran las máximas disponibilidades o las condiciones balance o igualdad de las restricciones técnicas (por ejemplo, la demanda de raciones para la producción de animal debe ser menor o igual que la oferta de raciones de las pasturas).

En los siguientes párrafos, se exponen los coeficientes  $a_{ij}$  y las disponibilidades  $b_i$  de cada restricción.

#### **Restricción de disponibilidad de tierra.**

La disponibilidad de tierra propia en ambos periodos es de 539 has para el productor 1 y 3.161 has para el productor 2. Se asume que el productor puede tomar en alquiler una cantidad de tierra ilimitada para cualquiera de las actividades productivas en los precios informados por el productor y que toda la tierra propia debe utilizarse en alguna actividad o ser cedida en alquiler.

#### **Maquinaria disponible y capital fijo.**

En relación a la maquinaria, se utiliza como equipamiento crítico al equipo de siembra (Tabla 19). Para el período 1 se considera un período óptimo de utilización de la maquinaria de siembra de cultivos de verano de 30 días para cultivos de primera siembra y 15 para cultivos de segunda siembra y 30 días para cultivos de invierno. La siembra de grano grueso se realizaba con dos máquinas con una capacidad operativa de 0,36 horas.ha<sup>-1</sup> cada una (velocidad de 6,5 km.hr<sup>-1</sup>, 7 hileras a 70 cm, factor de eficiencia de 0,85) mientras que la siembra de otoño se realizaba con una máquina de capacidad operativa de 0,52 horas.ha<sup>-1</sup> (velocidad de 6 km.hr<sup>-1</sup>, 20 hileras a 19 cm, factor de eficiencia: 0,85). Teniendo en cuenta la mayor especialización de cultivos del período 2, la cantidad de horas en período óptimo se asume menor. La siembra de cultivos de verano se realiza con dos sembradoras con una capacidad operativa de 0,27

horas.ha<sup>-1</sup> (velocidad de 6 km.hr<sup>-1</sup>, 13 hileras a 52 cm, factor de eficiencia de 0,9), mientras que la siembra de otoño se realiza con una sembradora con una capacidad operativa de 0,39 horas.ha<sup>-1</sup> (velocidad de 6 km.hr<sup>-1</sup>, 25 hileras a 19 cm, factor de eficiencia: 0,9)

**Tabla 19: Coeficientes técnicos y períodos de siembra óptimos para periodos 1 y 2**

	Periodo 1		Periodo 2	
	Coefficiente técnico (a) (Horas ha <sup>-1</sup> )	Periodo óptimo (b) (horas)	Coefficiente técnico* (a) (Horas ha <sup>-1</sup> )	Periodo óptimo (b) (horas)
Sembradora grano grueso cultivos de primera en primavera	0,18	240	0,135 (0,155)	175
Sembradora grano grueso cultivos de segunda en primavera	0,18	120	0,135 (0,155)	85
Sembradora grano fino otoño	0,52	240	0,39 (0,43)	200

\* Los valores entre paréntesis indican el coeficiente para el planteo tecnológico alto, donde se estima una capacidad operativa 10% menor por la mayor densidad de siembra y aplicación de mayor dosis de fertilizante en la operación.

Fuente: elaboración propia

## Disponibilidad de mano de obra

Para el primer periodo de análisis, el productor 1 contaba con 8.360 horas anuales de mano de obra dedicadas a ganadería y agricultura (3,5 operarios, 300 jornales, 8 horas), mientras que en el periodo 2, dispone de 7.200 horas anuales dedicadas a agricultura (3 operarios, 300 jornales, 8 horas). En tanto, el productor 2 tenía a su disposición 19.200 horas de trabajo anuales (8 operarios, 300 jornales, 8 horas) en el periodo 1 y para el periodo 2 administra 30.000 horas de trabajo (12,5 operarios, 300 jornales, 8 horas).

La restricción de mano de obra establece que la demanda de horas de trabajo de las actividades no puede superar la disponible, declarada en el párrafo anterior.

## Restricción técnica de rotación

La restricción de rotación implica que la cantidad de tierra propia asignada a un mismo cultivo oleaginoso no puede superar la mitad de la total, de acuerdo a lo establecido por el TDA, con el objetivo de evitar el monocultivo.

## Restricción técnica pasturas

La duración de las pasturas de alfalfa se estima en cuatro años, por lo cual se considera un 25% de la superficie de la alfalfa en año de implantación, 50% de la

superficie de alfalfa en producción y 25% de superficie de alfalfa degradada (último año de producción).

### **A.1.5. Distancias y valores de alcance real de los atributos**

La Tabla 20 muestra la distancia entre máximo y mínimo de cada atributo ( $k_i$ ) y valores de alcance real para los atributos en el periodo 2 ( $f_i$ ), utilizados en la programación matemática por metas (Capítulo VI).

**Tabla 20: Distancias y valores reales para los atributos de ambos productores en el periodo 2.**

Atributo	Productor 1		Productor 2	
	$k_i$	$f_i$	$k_i$	$f_i$
MBG	1.685.436	1.289.923	4.997.146	2.569.094
CT	22.653.775	1.579.062	5.023.163	2.418.184
PS	4.241	587.8	20.393	7.061
BMOS	2.396	830.1	10.441	-2.551
DE	7.485.590	6.383.557	26.335.515	14.734.567
RE	561.842.925.783	205.745.473.496	2.110.751.311.128	257.675.650.531

Fuente: elaboración propia

## **Bibliografía**

AACREA. 1990. Normas para medir los resultados económicos en las empresas agropecuarias. AACREA.

Alvarez, R. 2006. Balance de Carbono en los Suelos. Publicación Miscelánea N°105 - INTA:36:43.

Apezteguía, H. 2005. Dinámica de la materia orgánica de los suelos de la región semiarida central de Córdoba (Argentina). Tesis doctoral.

Becerra, V., J.M. Cisneros, J. de Prada, M.P. Cantu, H. Gil, J. Gonzalez, M. Reynero, A. Degioanni, y 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.

Cantero G., A., M.P. Cantu, J.M. Cisneros, J.J. Cantero, M. Blarasin, A. Degioanni, J. Gonzalez, V.H. Becerra, H. Gil, J.D. de Prada, S. Degioavanni, C. Cholaky, M. Villegas, A. Cabrera, y C. Eric. 1998. Las Tierras y Aguas del Sur de

Córdoba: Propuesta para un Manejo Sustentable. 1ra ed. UNRC, Río Cuarto, Cba. Argentina.

Cisneros, J.M., J. de Prada, A. Degioanni, A. Cantero G., H. Gil, M. Reynero, F.A. Shah, y B. Bravo-Ureta. 2004. Erosion 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.

CRG. 2007a. Cartillas y registros de gestión del establecimiento agropecuario, años 1994 a 2006. AACREA - Región Centro, Río Cuarto.

CRG. 2007b. Cartillas y registros de gestión del establecimiento agropecuario "campo 3", años 1990-2006. AACREA - Región Centro, Río Cuarto.

Davidson, E., y I. Janssens. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440:165-173.

de Prada, J.D., B. Bravo-Ureta, y F.A. Shah. 2005. El costo de la erosión de suelo para los productores agropecuarios en el sur de Córdoba, Argentina. *Revista Argentina de Economía Agraria* VIII 4-21.

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* 21:1368-1374.

Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, y P.K. Snyder. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* 309:570-574.

Foster, G.R. 2004. Software RUSLE2 ARS version jan 10 2005 USDA, Washington D.C.

Heichel. 1980. Assessing the Fossil energy costs of propagating agricultural crops, *En* D. Pimentel, ed. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC.

Hülsbergen, K.J., B. Feil, S. Biermann, G.W. Rathke, W.D. Kalk, y W. Diepenbrock. 2001. A method of energy balancing in crop production and its

application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86:303-321.

Jenkinson, L., y K. Coleman. 1999. Rothamsted Carbon model 26.3.

Jenkinson, L., y K. Coleman. 2005. Rothamsted Carbon model 26.3. A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. IACR, Rothamsted.

Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science* 165:57-72.

Lal, R. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil & Tillage Research* 93:1-12.

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* 33:225-236.

Pereira Dos Santos, H., R. Serena Fontaneli, J.C. Ignaczak, y S.M. Zoldan. 1999. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35:743-752.

Pimentel, D. 1980. Energy inputs for the production, formulation, packaging, and transport of various pesticides., *En* D. Pimentel, ed. Handbook of energy utilization in agriculture. Boca Raton: CRC.

Portillo, J.A., P. Santiago, y M. Pecar. 2005. Teoría de portafolio: utilización para evaluar los riesgos agropecuarios. *Revista Argentina de Economía Agraria* VIII:72-88.

Tittonel, P. 2004. El carbono orgánico de los suelos del centro de Argentina. Tesis de Maestría en Ciencias, UNRC, Río Cuarto.

Viglizzo, E.F., F. Lértora, 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 and Environment* 83: 65-81.

## **APÉNDICE B. EVOLUCIÓN DE PRECIOS CONSTANTES Y RELACIONES DE PRECIO DE PRODUCTOS E INSUMOS.**

### **b.1. Introducción**

El análisis de la evolución de los precios constantes de los productos e insumos, así como de sus principales relaciones permite definir cuáles son los precios que más pueden cambiar en la generación de los coeficientes técnicos de contribución para los modelos de programación desarrollados en el presente trabajo.

En el presente apéndice, se incluyen estos análisis como soporte a los cambios del modelo en el análisis de sensibilidad (Capítulo VII). La sección b.2 contiene la descripción de las bases de datos utilizadas y metodología de análisis, la sección b.3 los resultados de la evolución de los precios constantes de insumos y productos y sus relaciones, mientras que en la sección b.4 se resumen los principales parámetros a sensibilizar y los coeficientes de contribución que cambian en cada caso.

## **b.2. Metodología**

### **Bases de datos**

Los datos de precio fueron tomadas de la base de datos de AACREA (2009), utilizándose los precios de los insumos y productos que figuran en la Tabla 1. Los productos utilizados son los que mayormente se seleccionan en el modelo y por los productores y los insumos corresponden a los más relevantes para estos rubros de producción. La serie que se utiliza es la correspondiente a 1990-2008.

**Tabla 1: Productos e insumos utilizados en el análisis de precios**

<b>Productos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente de datos</b>	<b>Observaciones</b>
Soja	\$.T <sup>-1</sup>	Bolsa de Cereales	
Maíz	\$.T <sup>-1</sup>	Bolsa de Cereales	
Trigo	\$.T <sup>-1</sup>	Bolsa de Cereales	
Girasol	\$.T <sup>-1</sup>	Bolsa de Cereales	
Novillos	\$.Kg <sup>-1</sup>	Mercado de Liniers	
<b>Insumos</b>			
Glifosato 48%	\$.L <sup>-1</sup>	Proveedores de insumos	
Urea	\$.T <sup>-1</sup>	Proveedores de insumos	
Gas-oil	\$.L <sup>-1</sup>		Esta serie incluye IVA
Ternero (invernada)	\$.Kg <sup>-1</sup>	MIC	De 180 a 200 kg

Fuente: elaboración propia

### **Análisis**

Los datos fueron actualizados utilizando el Índice de Precios Internos Mayorista (I.P.I.M.) nivel general a julio de 2008 (\$c).

El procesamiento se realizó con el software Serie de Precios (AACREA, 2006). Las relaciones de precio fueron divididas mediante análisis de percentiles, determinando aquellas con mayor variabilidad y posibles tendencias para las series 1990-2008 y 2000-2008 y los coeficientes para realizar los análisis de sensibilidad.

## **b.3. Precios de insumos y productos**

### **Evolución de los precios constantes de los productos**

Los precios de los granos en la serie 1990-2008 tienen una variabilidad promedio respecto a la media de entre 19-27% (Tabla 2). Su media es siempre mayor a la mediana lo cual implica la ocurrencia de picos altos de precio más pronunciados que

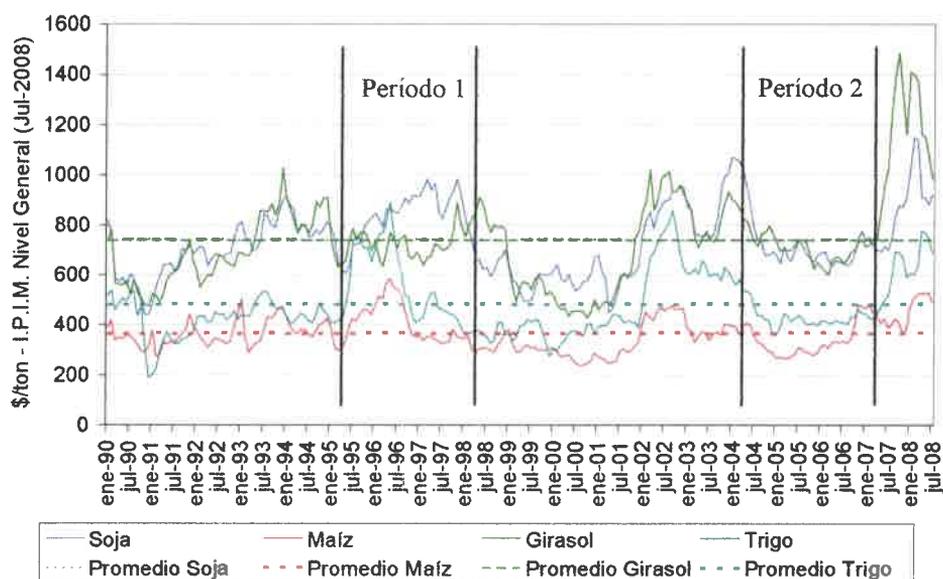
los picos bajos. El precio del novillo es mucho menos variable en la serie 1990-2008 (12%).

**Tabla 2: Estadística básica precios de los productos. Serie 1990-2008**

		Soja	Maíz	Girasol	Trigo	Novillo
		\$.T <sup>-1</sup>				\$.kg <sup>-1</sup>
Media		738	363	736	479	2,87
Coefficiente de Variación (%)		19	20	25	27	12
Percentil						
Máximo	100%	1.148	582	1485	889	4,12
	75%	836	402	805	535	3,10
Mediana	50%	718	348	717	436	2,86
	25%	637	307	616	406	2,66
Mínimo	0%	440	238	428	189	1,92

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

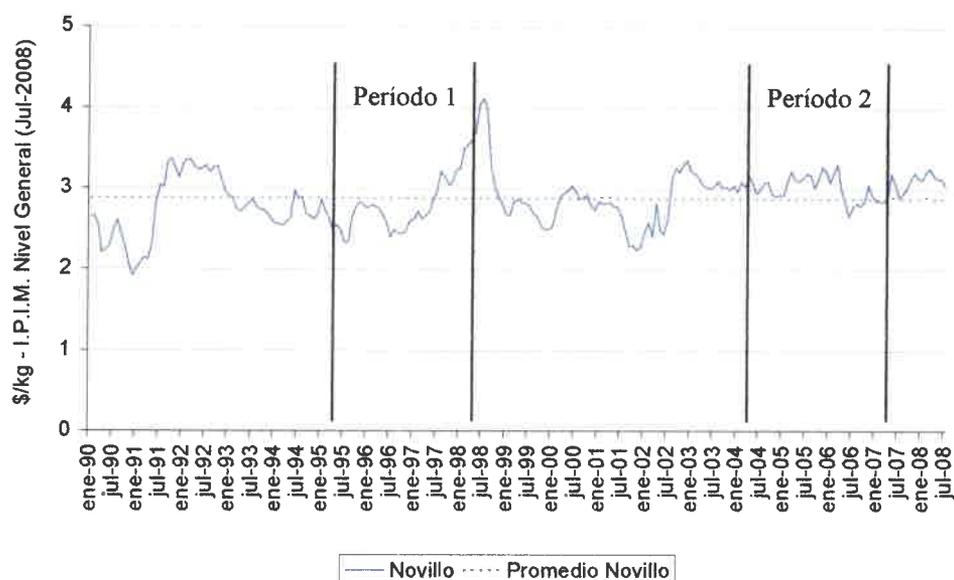
Los precios de los granos desde 1990 han fluctuado de forma importante respecto al promedio (Gráfico 1). Durante el periodo 1, los precios se mantuvieron, en general, por encima de los respectivos valores promedio, mientras que la primera parte del periodo 2 tiene precios superiores al promedio y la segunda precios inferiores. Como ejemplo, el precio de la soja en el periodo 1 fue de 814 \$/T mientras que en la serie 1990-2008 es de 738 \$/T. Para el periodo 2, hasta agosto de 2004 el precio fue mayor al promedio y luego cayó por debajo del mismo.



**Gráfico 1: Evolución de los precios de los granos, período 1990-08. Valores constantes a Julio de 2008 (I.P.I.M nivel general).**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

El precio promedio de novillo de la serie 1990-2008 fue de 2,87 \$/kg, siendo inferior durante todo el periodo 1 (media de 2,65 \$/kg) y superior en todo el periodo 2 (media de 3,06 \$/kg) (Gráfico 2)



**Gráfico 2: Evolución del precio del novillo, serie 1990-2008. Valores constantes a Julio de 2008 (L.P.I.M nivel general).**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

## Evolución de las relaciones producto-producto

La variabilidad en las relaciones de precio entre productos oscila entre el 27 y el 40% en promedio (Tabla 3), siendo más inestables las relaciones de precio de soja con maíz y soja con novillo.

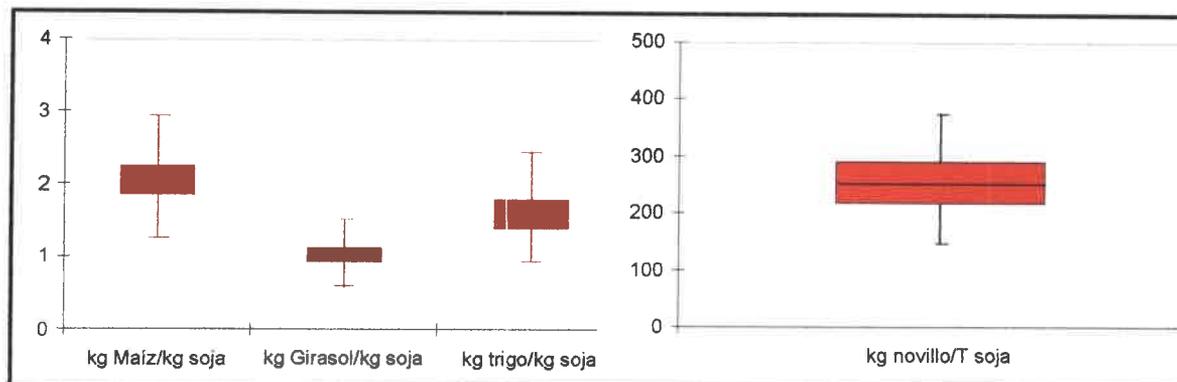
**Tabla 3: Estadística básica para las relaciones producto/producto.**

		kg Maíz.kg soja <sup>1</sup>	kg Girasol.kg soja <sup>1</sup>	kg novillo.T soja <sup>1</sup>
Media		2,06	1,03	259
Coefficiente de Variación (%)		38	27	40
Percentil				
Máximo	100%	2,92	1,49	374
	75%	<b>2,24</b>	<b>1,13</b>	<b>291</b>
Mediana	50%	2,03	1,01	252
	25%	<b>1,85</b>	<b>0,93</b>	<b>218</b>
Mínimo	0%	1,27	0,59	149

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

La relación entre kg maíz/kg soja es entre 1,85 y 2,24 en el 50% de los datos de la distribución. La relación entre girasol y soja es la menos variable y se encuentra para la mitad de los datos entre 0,93 y 1,13. Mientras tanto, la relación más variable es la de kg trigo/kg soja en la que el 50% de los datos alcanza valores entre 1,4 y 1,8.

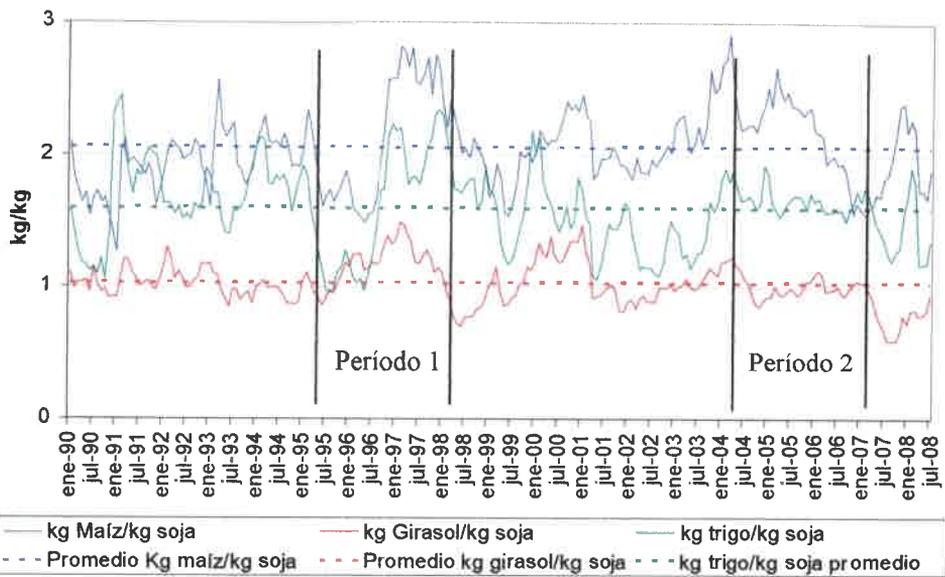
Por último, la cantidad de kg de novillos que equivalen a una tonelada de soja es en promedio 259, y la mitad de los datos se encuentra entre 218 y 291.



**Gráfico 3: relaciones de precio producto/producto, serie 1990-2008.**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

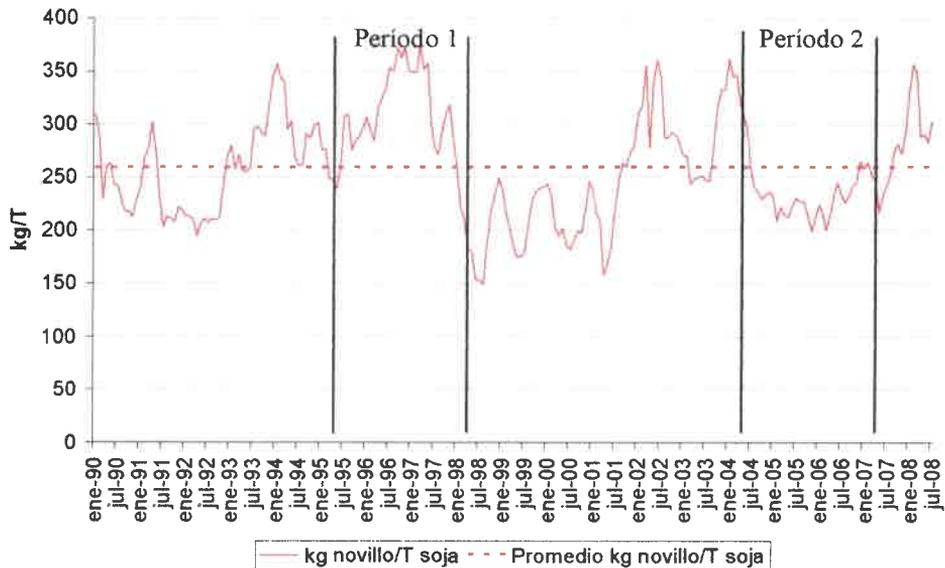
Las relaciones de precio entre los principales granos ha sido variable en el tiempo (Gráfico 4). Tomando como referencia el precio de la soja, el promedio de kilos de maíz necesarios para comprar un kilogramo de soja es de 2,06, aunque en el periodo 1 la relación es levemente más favorable a maíz (2,02 kg maíz/kg soja) y en el periodo 2 es favorable a soja respecto al promedio (2,35 kg maíz/kg soja). El trigo muestra una relación con la soja similar a maíz. Su relación promedio es de 1,6 kg trigo/kg soja, levemente inferior en el periodo 1 (1,53 kg trigo/kg soja) y levemente superior en el periodo 2 (1,65 kg trigo/kg soja). Por último, para el caso del precio del girasol, la relación promedio con soja es de 1,03 kg girasol/kg soja; es menos favorable a girasol en el periodo 1 (1,12 kg girasol/kg soja) e igual al promedio en el periodo 2.



**Gráfico 4: Relaciones de precios entre maíz, girasol y trigo respecto a soja, periodo 1990-2008.**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

La relación de precios soja/novillo promedio para el periodo 1990-2008 es de 259 kg novillo/T soja. Para el periodo 1, la relación era desfavorable para el novillo (promedio de 308 kg/T soja), mientras que en el periodo 2, la relación comienza desfavorable para el novillo y culmina favorable, promediando 252 kg novillo/T soja.

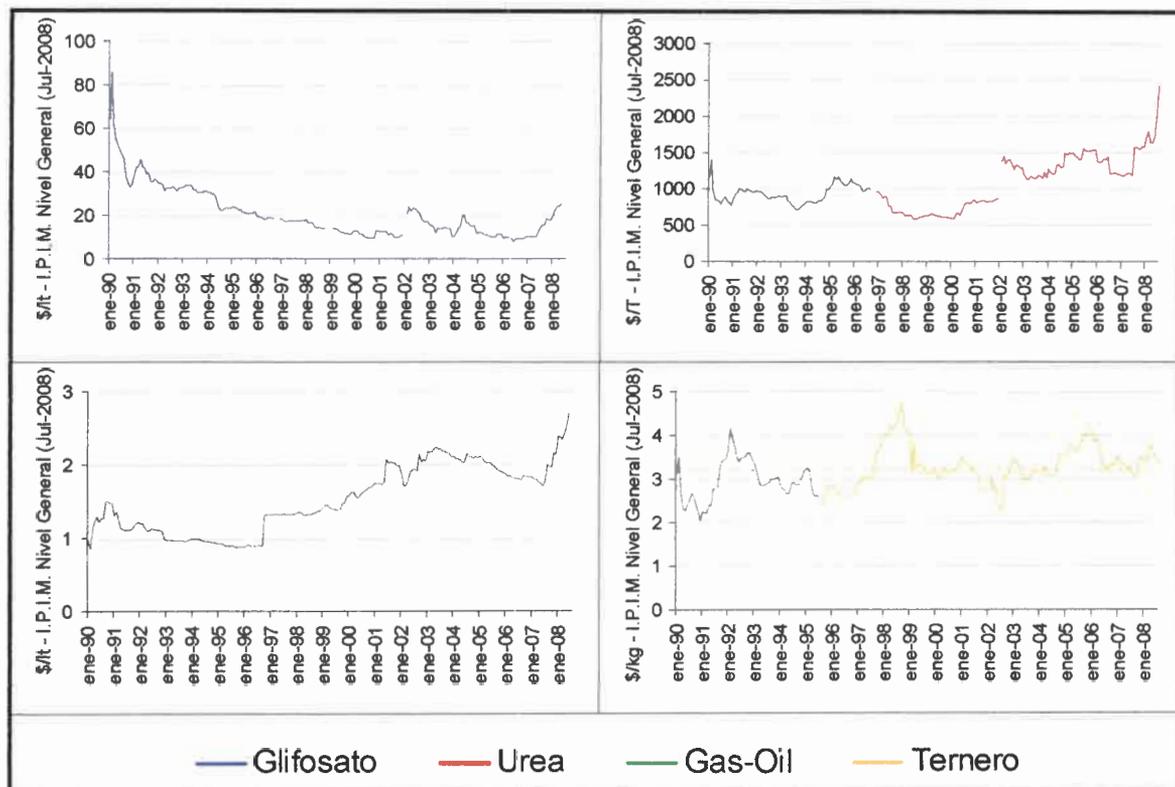


**Gráfico 5: Relaciones de precios de novillo respecto a soja, periodo 1990-2008.**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

## Evolución de los precios constantes de los principales insumos

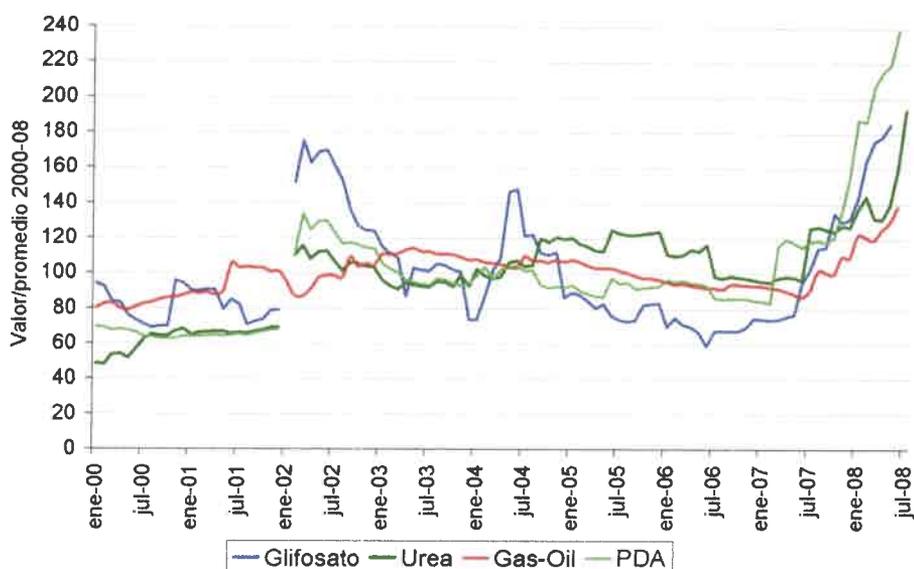
Los precios de los principales insumos siguieron tendencias variables en el periodo 1990-2008 (Gráfico 6). Mientras el glifosato tiene una tendencia de precio fuertemente decreciente hasta 1998 y luego se estabiliza, los precios del gas-oil y la urea (principales insumos energéticos de los sistemas) tienen una clara tendencia al alza. En tanto, los precios de los terneros fluctúan alrededor del promedio de 3,19 \$/kg.



**Gráfico 6: Evolución de los precios de los principales insumos, serie 1990-2008. Valores constantes a Julio de 2008 (I.P.I.M nivel general)**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

Teniendo en cuenta la tendencia antes descrita para algunas de las series de insumos, se toma el periodo 2000-2008 para analizar la evolución conjunta de los precios de los insumos (Gráfico 7). Los insumos presentan una tendencia conjunta en sus precios, aumentan entre 2000 y 2002, alcanzan un pico en enero de 2002 y luego caen levemente hasta julio de 2007, cuando comienzan a subir fuertemente y se encuentran actualmente en de los más altos de la serie.



**Gráfico 7: Precios de los insumos en relación al promedio, serie 2000-08.**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

### Resumen de precios de insumos 2000-2008

Teniendo en cuenta la tendencia observada en las relaciones de precio (Gráfico 7), se utilizó la serie 2000-2008 como representativa de estas relaciones para estimar los valores a sensibilizar. En la Tabla 4 resumen los precios de los insumos para esta serie.

**Tabla 4: Estadística básica para las relaciones insumo/producto. Serie de precios 2000-2008**

		Glifosato	Urea	Gas-Oil	PDA
		\$c.L <sup>-1</sup>	\$c.T <sup>-1</sup>	\$c.L <sup>-1</sup>	\$c.T <sup>-1</sup>
Media		13,7	1.257	1,96	1.634
Coeficiente de Variación (%)		31,5	25,6	11,3	34,3
Percentil					
Máximo	100%	25,3	2.428	2,72	3.903
	75%	15,7	1.471	2,11	1.867
Mediana	50%	12,3	1.276	1,98	1.541
	25%	10,1	1.159	1,80	1.378
Mínimo	0%	8,1	606	1,55	1.031

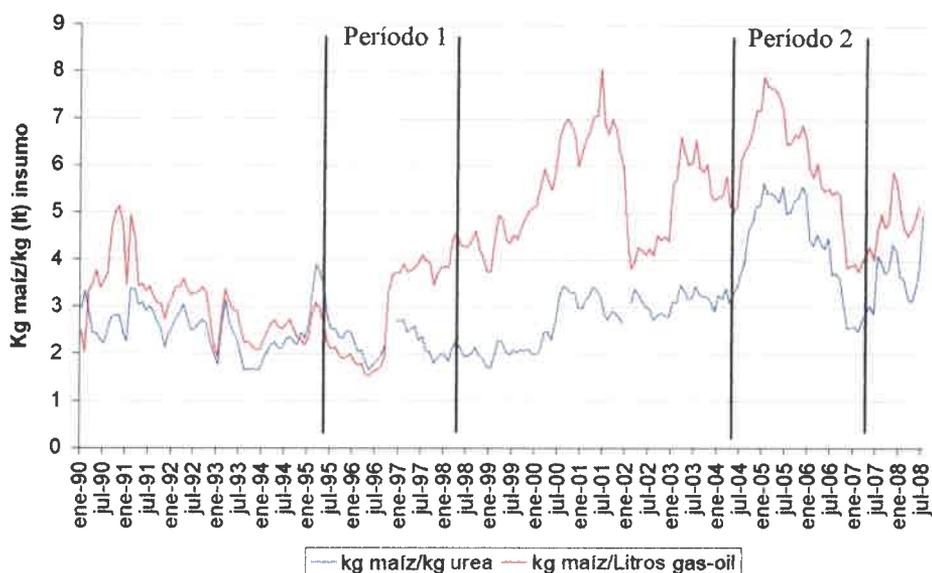
Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

## Evolución de las relaciones insumo-producto

### Maíz – insumos

Las labores y los fertilizantes representan los costos más importantes del cultivo de maíz. La cantidad de maíz necesaria para adquirir una unidad de urea o una unidad de gas-oil ha aumentado en el periodo 1990-2008 (Gráfico 8) y es un factor a sensibilizar en el modelo de programación matemática teniendo en cuenta la posibilidad

de que se mantenga la tendencia. Mientras en el periodo 1 eran necesarios 2,5 kg de maíz para comprar 1 kg de urea, en el segundo periodo son necesarios 4,4 kg de maíz. En una tendencia similar, con 2,55 kg de maíz se compraba un litro de gas-oil en el periodo 1994-97, mientras que la cantidad requerida en el periodo 2003-06 es de 6,3 kg maíz.

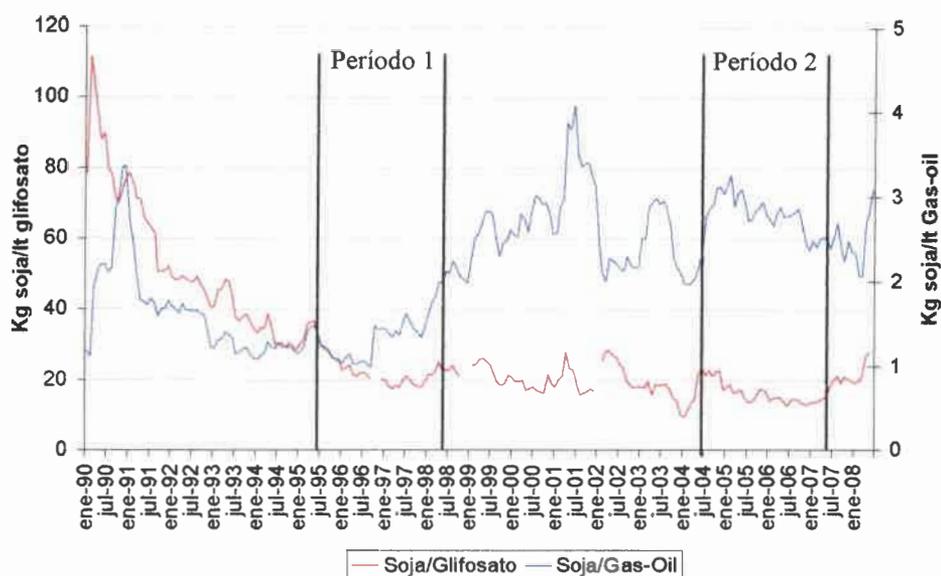


**Gráfico 8: Relaciones de precios maíz/insumos, periodo 1990-2008.**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

### Soja – insumos

Las labores y herbicidas constituyen los costos más relevantes para el cultivo de soja. Estas relaciones cambiaron en el tiempo, ya que mientras la cantidad de soja necesaria para comprar un litro de glifosato se redujo de forma importante – en el periodo 1 se requerían 26 kg, y en el periodo 2 solo 16, la relación respecto al litro de gas-oil es inversa – en el periodo 1 se compraba un litro de gas-oil con 1,24 kg, mientras que en el periodo 2 se necesitan 2,7 kg de soja (Gráfico 9).

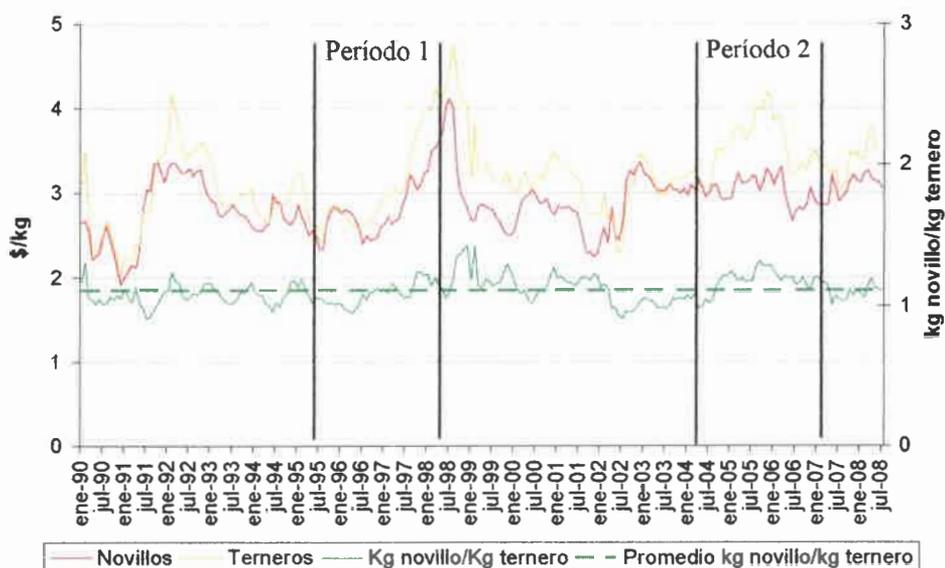


**Gráfico 9: Relaciones de precios soja/insumos, periodo 1990-2008.**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

*Invernada – insumos.*

El insumo más importante para un sistema de invernada son los terneros. Si bien los precios de los terneros y de los novillos cambian en el tiempo y son variables para los periodos de análisis, la relación entre ellos es mucho menos variable (Gráfico 10)



**Gráfico 10: Precios constantes y relación terneros – novillos. Serie 1990-2008**

Fuente: elaboración propia con datos de Serie de Precios de CREA (2009)

## **b.4. Parámetros a sensibilizar**

Las relaciones entre productos que más variabilidad presentan en la serie 1990-2008 serán exploradas (kg maíz/kg soja y kg novillo/kg soja). Se utilizarán los valores de los percentiles 25 y 75 (Tabla 3) para definir los coeficientes de contribución en escenarios de relaciones favorables a soja o a los otros productos (Escenarios 1 a 4, Tabla 5).

**Tabla 5: Resumen de parámetros de precio y coeficientes a sensibilizar**

Escenario	Producto/producto	Parámetro a utilizar	Índice	Parámetro a sensibilizar	Coefficientes que afecta
1	Kg maíz/kg soja	Percentil 75	110	Precio del maíz	MBG maíz
2	Kg maíz/kg soja	Percentil 25	91		
3	Kg novillo/kg soja	Percentil 75	115	Precio del soja	MBG soja
4	Kg novillo/kg soja	Percentil 25	87		

<sup>1</sup>: corresponde a la variación porcentual del promedio.

Fuente: elaboración propia

Para el caso de los precios de los insumos y las relaciones entre insumos y productos, se utilizan los valores de los percentiles 25, 75 y se agregará el percentil 90 (valor de que deja por debajo el 90% de los datos de precio o relación de precios) para la serie 2000-2008 (Tabla 4) teniendo en cuenta la tendencia registrada en dichas series y que actualmente los precios de los insumos se presentan dentro de los más altos de la serie. Para ello se elaboró un índice con el que se afectaron los costos directos de acuerdo al cambio relativo en el precio de Glifosato, Urea, Gas-Oil y PDA y su participación relativa promedio en los costos de las actividades (Tabla 6).

**Tabla 6: Resumen de parámetros de precio de insumos a sensibilizar.**

Insumos	Glifosato	Urea	Gas-Oil	PDA	Índice	Parámetro a sensibilizar	Coefficientes que afecta
<b>Ponderación <sup>2</sup></b>	<b>0,14</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>			
Escenario	Relación respecto al promedio						
5. 90% superior	152,1	125,8	111,3	129,5	133,1	Costos Directos	CT y MBG de todos los cultivos y ganadería
6. Precios cuartil superior	114,7	116,3	107,3	114,3	113,8		
7. Precios cuartil inferior	74,1	92,2	91,6	84,3	84,2		

<sup>2</sup>: corresponde al promedio de participación de costos de los herbicidas, fertilizantes (dividido entre urea y PDA por igual) y gas-oil dentro de los costos de los cultivos para los campos en el periodo 2. Se asume que los costos directos totales y el capital de trabajo varían de forma proporcional a esos cambios.

Fuente: elaboración propia

## b.5 Coeficientes

Las siguientes tablas resumen los coeficientes que cambian en el modelo de programación matemática en cada escenario. El resto de los coeficientes quedan de la misma forma a la mostrada en el Apéndice A.

### Escenarios 1 a 4. Cambios en los precios de productos

Ante los cambios en las relaciones de precio soja/maíz y novillo/soja, cambian los MB de los cultivos de maíz y trigo-maíz (escenarios 1 y 2, Tabla 7) y soja de primera y todas las variantes con soja de segunda (escenarios 3 y 4, Fuente: elaboración propia

Tabla 8).

**Tabla 7: Coeficientes variables, escenarios 1 y 2.**

Productor	Cultivo	Tenencia	Planteo tecnológico	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) original	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) Escenario 1	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) Escenario 2
1	Maíz de Primera	Propia	Alto	1.135	908	1.376
			Medio	1.106	887	1.339
			Bajo	983	791	1.187
		Alquila	Alto	464	270	670
			Medio	448	260	647
			Bajo	367	203	542
	Trigo - Maíz	Propia	Alto	469	350	593
			Medio	639	524	758
			Bajo	309	209	414
		Alquila	Alto	-498	-600	-393
			Medio	-463	-561	-361
			Bajo	-526	-612	-437
2	Maíz de Primera	Propia	Promedio	852	680	1.030
		Alquilada	Promedio	321	156	493
	Trigo - Maíz de segunda	Propia	Promedio	925	833	1.019
		Alquilada	Promedio	213	125	304

Fuente: elaboración propia

**Tabla 8: Coeficientes variables, escenario 3 y 4.**

Productor	Cultivo	Tenencia	Planteo	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> )
			tecnológico	original	Escenario 3	Escenario 4
1	Soja de primera	Propia	Alto	1.785	1.503	2.266
			Medio	1.530	1.283	1.950
			Bajo	1.521	1.276	1.936
		Alquila	Alto	1.145	904	1.557
			Medio	840	727	1.297
			Bajo	931	722	1.287
	Trigo - Soja	Propia	Alto	1.534	1.328	1.886
			Medio	1.544	1.364	1.852
			Bajo	1.244	1.066	1.549
		Alquila	Alto	690	515	991
			Medio	562	408	825
			Bajo	495	342	755
2	Soja de Primera	Propia	Promedio	1.203	1.011	1.531
		Alquilada	Promedio	685	505	993
	Trigo - Soja de segunda	Propia	Promedio	1.676	1.504	1.971
		Alquilada	Promedio	670	504	952
	VI - Soja de segunda	Propia	Promedio	845	672	1.139
		Alquilada	Promedio	329	163	611
	Avena Semilla - Soja de segunda	Propia	Promedio	1.330	1.158	1.625
		Alquilada	Promedio	291	125	573

Fuente: elaboración propia

### Escenarios 5-7. Cambios en los precios de insumos.

El cambio en el costo de los insumos altera los CT y el MB de las alternativas (Tabla 9 y Tabla 10).

**Tabla 9: Cambios en CT en las alternativas, escenarios 5 a 7**

Productor	Cultivo	Tenencia	Planteo tecnológico	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> ) original	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> ) E5	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> ) E6	CT (Sc.ha <sup>-1</sup> ) E7
1	Soja de primera	Propia	Alto	777	1.035	885	655
			Medio	708	942	806	596
			Bajo	695	925	791	585
		Alquila	Alto	1.045	1.391	1.190	880
			Medio	976	1.299	1.111	822
			Bajo	963	1.282	1.096	811
	Maíz de Primera	Propia	Alto	1.315	1.751	1.497	1.107
			Medio	1.258	1.675	1.432	1.059
			Bajo	1.087	1.446	1.237	915
		Alquila	Alto	1.630	2.170	1.855	1.372
			Medio	1.573	2.093	1.790	1.324
			Bajo	1.401	1.865	1.595	1.180
	Trigo - Soja	Propia	Alto	1.414	1.882	1.609	1.191
			Medio	1.244	1.655	1.415	1.047
			Bajo	1.086	1.446	1.236	915
		Alquila	Alto	1.608	2.140	1.829	1.354
			Medio	1.479	1.969	1.684	1.246
			Bajo	1.351	1.798	1.537	1.137
	Trigo - Maíz	Propia	Alto	2.100	2.794	2.389	1.768
			Medio	1.947	2.591	2.215	1.639
			Bajo	1.647	2.192	1.875	1.387
		Alquila	Alto	2.281	3.036	2.595	1.920
			Medio	2.153	2.866	2.450	1.813
			Bajo	1.903	2.533	2.166	1.603
2	Soja de primera	Propia	Medio	522	694	594	439
		Alquilada	Medio	984	1.310	1.120	829
	Maíz de Primera	Propia	Medio	896	1.193	1.020	755
		Alquilada	Medio	1.360	1.811	1.548	1.145
	Trigo - Maíz de segunda	Propia	Medio	1.120	1.491	1.275	943
		Alquilada	Medio	1.446	1.925	1.646	1.218
	Girasol	Propia	Medio	568	756	646	478
		Alquilada	Medio	1.032	1.374	1.175	869
	Avena semilla	Propia	Medio	555	738	631	467
		Alquilada	Medio	810	1.078	922	682
	Trigo-Soja	Propia	Medio	1.030	1.371	1.172	867
		Alquilada	Medio	1.393	1.854	1.585	1.173
	Verdeo de verano	Propia	Medio	131	174	149	110
		Alquilada	Medio	131	174	149	110
	Verdeo invierno - Soja	Propia	Medio	469	624	533	395
		Alquilada	Medio	691	919	786	582
	Avena sem - Soja	Propia	Medio	1.023	1.362	1.164	861
		Alquilada	Medio	1.487	1.979	1.692	1.252
	Trigo	Propia	Medio	508	677	579	428
		Alquilada	Medio	909	1.210	1.035	766
	Invernada sin alimentación	Propia	Medio	70	93	79	59
		Alquilada	Medio	249	331	283	209
	Verdeo invierno	Propia	Medio	278	371	317	234
		Alquilada	Medio	278	371	317	234
	Pradera de alfalfa	Propia	Medio	162	216	184	136
		Alquilada	Medio	162	216	184	136
	Heno de alfalfa	Propia	Medio	733	976	834	617
		Alquilada	Medio	733	976	834	617
	Suplementación grano	Propia	Medio	896	1.193	1.020	755
		Alquilada	Medio	896	1.193	1.020	755
	Silaje de maíz	Propia	Medio	1.596	2.125	1.817	1.344
		Alquilada	Medio	1.596	2.125	1.817	1.344

Fuente: elaboración propia

**Tabla 10: Cambios en MB en las alternativas, escenarios 5 a 7**

Productor	Cultivo	Tenencia	Planteo tecnológico	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) original	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) E5	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) E6	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) E7
1	Soja de primera	Propia	Alto	1.785	1.528	1.678	1.908
			Medio	1.530	1.296	1.432	1.642
			Bajo	1.520	1.290	1.424	1.630
		Alquila	Alto	1.146	800	1.001	1.311
			Medio	840	517	705	994
			Bajo	931	612	798	1.084
	Maíz de Primera	Propia	Alto	1.135	699	953	1.343
			Medio	1.106	690	933	1.305
			Bajo	983	623	833	1.155
		Alquila	Alto	464	-76	239	721
			Medio	448	-73	231	696
			Bajo	367	-97	174	589
	Trigo - Soja	Propia	Alto	1.534	1.066	1.339	1.758
			Medio	1.544	1.133	1.373	1.741
			Bajo	1.244	884	1.094	1.416
		Alquila	Alto	690	158	469	944
			Medio	562	72	358	796
			Bajo	495	48	308	708
	Trigo - Maíz	Propia	Alto	469	-226	180	801
			Medio	639	-5	371	947
			Bajo	309	-236	82	569
		Alquila	Alto	-498	-1.253	-813	-138
			Medio	-463	-1.176	-760	-123
			Bajo	-526	-1.156	-789	-225
2	Soja de primera	Propia	Medio	1.203	1.030	1.131	1.285
		Alquilada	Medio	685	359	549	840
	Maíz de Primera	Propia	Medio	852	555	728	993
		Alquilada	Medio	321	-129	134	536
	Trigo - Maíz de segunda	Propia	Medio	925	554	770	1.102
		Alquilada	Medio	213	-266	13	441
	Girasol	Propia	Medio	1.081	893	1.002	1.170
		Alquilada	Medio	293	-48	151	456
	Avena semilla	Propia	Medio	207	24	131	295
		Alquilada	Medio	-263	-531	-374	-135
	Trigo-Soja	Propia	Medio	1.676	1.335	1.534	1.839
		Alquilada	Medio	669	208	477	889
	Verdeo de verano	Propia	Medio	-131	-174	-149	-110
		Alquilada	Medio	-131	-174	-149	-110
	Verdeo invierno - Soja	Propia	Medio	845	690	780	919
		Alquilada	Medio	329	100	233	438
	Avena sem - Soja	Propia	Medio	1.330	992	1.189	1.492
		Alquilada	Medio	291	-202	85	526
	Trigo	Propia	Medio	403	235	333	484
		Alquilada	Medio	-145	-446	-271	-2
	Invernada sin alimentación	Propia	Medio	362	339	352	373
		Alquilada	Medio	183	100	149	222
	Verdeo invierno	Propia	Medio	-278	-371	-317	-234
		Alquilada	Medio	-278	-371	-317	-234
	Pradera de alfalfa	Propia	Medio	-162	-216	-184	-136
		Alquilada	Medio	-162	-216	-184	-136
	Heno de alfalfa	Propia	Medio	-733	-976	-834	-617
		Alquilada	Medio	-733	-976	-834	-617
	Suplementación grano	Propia	Medio	-896	-1.193	-1.020	-755
		Alquilada	Medio	-896	-1.193	-1.020	-755
Silaje de maíz	Propia	Medio	-1.596	-2.125	-1.817	-1.344	
	Alquilada	Medio	-1.596	-2.125	-1.817	-1.344	

Fuente: elaboración propia

## Escenario 8-10. Cambio en las restricciones

Para los dos productores, se utilizó el modelo sin restricción de monocultivo de oleaginosas en campo propio, utilizando una penalidad en el rendimiento del 13% para lotes con soja sobre soja, basado los registros de lotes de producción de soja de la región centro (AACREA, 2008) (Tabla 11).

**Tabla 11: Rendimiento del cultivo de soja con diferentes antecesores, región centro, campañas 2006-08**

Cultivo	Antecesor	n	Superficie (has)	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )
Soja	Maíz	1082	75.000	3.685
	Soja	455	30.000	3.221

Fuente: elaboración propia, con datos de las planillas AgriZoCe Soja (2008)

Utilizando esta penalidad se estableció un escenario de cambio de restricciones para las condiciones actuales (Escenario 8), de ausencia de restricción de rotación más una condición de aumento de los CD al percentil 90 (Escenario 9, combina escenario 5 y 8) y un escenario de ausencia de restricción de ganadería para el campo 2 (Escenario 10).

Los cambios en los coeficientes MBG para los escenarios 8 y 9 se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12: Cambios en MB en las alternativas, escenarios 8 y 9**

Productor	Cultivo	Tenencia	Planteo tecnológico	MB (Sc.ha <sup>-1</sup> ) Escenario 8 y 9
1	Soja sobre soja	Propia	Alto	1.462
			Medio	1.248
			Bajo	1.241
		Alquila	Alto	869
			Medio	611
			Bajo	692
2	Soja sobre soja	Propia	Medio	986
		Alquila	Medio	523

Fuente: elaboración propia

## Bibliografía

- AACREA. 2006. Series de Precios 2.0. Área de Economía de AACREA.  
 AACREA. 2008. Planillas de producción Agrizoce Soja 2006-08, Río Cuarto.  
 AACREA. 2009. Series de Precios. Actualización. Área de Economía, AACREA.

73203

U N R C  
Biblioteca Central



73203