

## Exploración de alternativas para el desarrollo sostenible de sistemas de producción hortícola-ganaderos familiares en el sur de Uruguay

Aguerre Verónica<sup>1</sup>, Chillbroste Pablo<sup>2</sup>, Casagrande Marion<sup>3</sup>, Dogliotti Santiago<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate. Ruta 48 km 10, 90200 Canelones, Uruguay. Correo electrónico: vaguerre@inia.org.uy*

<sup>2</sup>*Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Mario Casinoni. Ruta 3 km 363, 60000 Paysandú, Uruguay.*

<sup>3</sup>*Farming Systems Ecology Group, Universidad de Wageningen, Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB, Wageningen, Holanda.*

<sup>4</sup>*Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Centro Regional Sur. Camino Folle s/n, Joanico, 90400 Canelones, Uruguay.*

Recibido: 21/3/13 Aceptado: 28/1/14

### Resumen

La sostenibilidad de la mayoría de los predios hortícolas familiares en el sur de Uruguay está amenazada por ingresos insuficientes y por el deterioro de los recursos naturales. En este estudio se cuantificó el efecto de la inclusión de diferentes actividades de producción ganadera en la estructura y en los resultados económico-productivos y ambientales de diferentes tipos de sistemas de producción (predios) hortícolas. Se realizó un estudio exploratorio a escala predial con modelos de simulación utilizando dos predios como estudio de caso. Los resultados sugieren que la inclusión de actividades de producción ganadera en los sistemas de producción hortícolas es un factor determinante para reducir la erosión promedio del área cultivada. Para reducir la erosión el modelo diseñó predios que reducen el área de hortalizas al tiempo que expanden la rotación forrajera. Como consecuencia de esto, también se redujo el ingreso familiar (IF) entre 12 % y 31 % según el caso estudiado. Sin embargo, pudimos diseñar sistemas de producción con erosión menor a la tolerable para el tipo de suelo e IF mayor al objetivo, en los dos predios. De las actividades ganaderas evaluadas las más apropiadas para incluir en predios hortícolas son el engorde de novillos o vaquillonas en ciclos de 14 a 18 meses, debido al menor costo para reposición de animales y al menor uso de concentrados, lo que disminuye las necesidades de capital y la dependencia de insumos externos.

**Palabras clave:** sistemas mixtos, ganadería, modelos de simulación, estudios exploratorios.

### Summary

## Exploring Alternatives for Sustainable Development of Mixed Vegetable Beef-cattle Family Farm Systems in Southern Uruguay

Sustainability of most vegetable family farms in Southern Uruguay is threatened by low income and the deterioration of natural resources. This study quantified the effect of the inclusion of different alternatives of livestock production in the structure, and economic and environmental performance of different types of vegetable farms. Based on two farms as case studies, we conducted a model based exploratory study at farm scale. The results suggested that the inclusion of livestock production in vegetable family farms is a key factor in reducing erosion of the cultivated area. To reduce erosion, the model reduced the area of vegetables per farm, while expanding the area of forage production. As a consequence, family farm income (IF) was reduced between 12 % and 31 % depending on the case studied. However, we could design production systems with erosion lower than the tolerance limit for the soil type and higher IF, relative to the target, in both farms. From the livestock production alternatives evaluated, the most appropriate ones to include in vegetable production systems are fattening steers or heifers in cycles of 14 to 18 months, due to lower cost for restocking and less use of concentrates, reducing capital requirements and dependence on external inputs.

**Keywords:** mixed production systems, livestock production, simulation models, explorative studies

## Introducción

Dos tercios de la población rural mundial vive en explotaciones mixtas que combinan cultivos y pasturas y producen casi la mitad de la comida del mundo (Herrero *et al.*, 2010). Para lograr satisfacer el crecimiento en la demanda de alimentos, estimado en 70 % en menos de 40 años (Lobell *et al.*, 2009), se requiere apoyar a los productores familiares a desarrollar explotaciones más productivas, más eficientes en el uso de los recursos de producción y más amigables con el medio ambiente (IFAD, 2011). Sin embargo, en muchas regiones del mundo los productores familiares se ven amenazados por ingresos decrecientes, deterioro de los recursos naturales y falta de acceso a mercados, recursos productivos y conocimiento (Lipton, 2005; IFAD, 2011). Por lo tanto es necesario explorar alternativas para la intensificación ecológica de los sistemas de producción familiar.

El departamento de Canelones (Uruguay) es la región del país con mayor incidencia y severidad de erosión en los suelos (MGAP, 2004) y donde se encuentra la mayor concentración de explotaciones familiares. Una parte importante de estas explotaciones tienen a la horticultura como principal fuente de ingresos. Los productores hortícolas uruguayos se han enfrentado hasta el año 2004 a una tendencia de precios decrecientes de las hortalizas (pesos constantes, CAMM, 2009) y a un aumento de los costos de los insumos y la energía. La estrategia que muchos emplearon para mantener sus ingresos fue intensificar y especializar sus explotaciones, cultivando mayores áreas de menos cultivos y aumentando el uso de insumos, energía y riego. Este proceso agravó el deterioro ya existente en la calidad del suelo, limitando el rendimiento de los cultivos y por lo tanto el ingreso familiar (García de Souza *et al.*, 2011). Una causa importante de esta espiral negativa es que los productores se adaptan a las condiciones cambiantes de su entorno por un proceso de ensayo y error, y muy raramente esta adaptación involucra un rediseño global de sus formas de producción (IAASTD, 2008). Dogliotti *et al.* (2005) realizaron un estudio basado en un modelo bio-económico con el objetivo de explorar estrategias para salir de esta espiral negativa. Este estudio mostró que sería posible incrementar el ingreso familiar en la mayoría de los predios y a la vez reducir la erosión entre 2 y 4 veces de su nivel actual y revertir el balance negativo de materia orgánica del suelo. Esto se lograría reduciendo el área con cultivos hortícolas, combinando los cultivos en rotaciones con abonos verdes, cultivos forrajeros y pasturas, e introduciendo la ganadería en el sistema de producción, lo cual representa

la estrategia opuesta a la seguida por la mayoría de los productores.

La estrategia propuesta por Dogliotti *et al.* (2005) se evaluó entre 2005 y 2010 en 16 explotaciones familiares del sur de Uruguay, seleccionadas para representar la diversidad de disponibilidad de recursos y calidad de suelo existente en esta región. En la mayoría de las explotaciones se lograron incrementos significativos del ingreso, la productividad del trabajo familiar y la calidad del suelo evaluada por el contenido de C orgánico y la tasa de erosión estimada (Dogliotti *et al.*, 2012). A pesar de que en este estudio no se modificó el sistema de producción animal existente, la producción de carne vacuna aumentó en 9 de los 11 predios que la realizaban como resultado de un incremento de la producción de forraje por instalación de pasturas y cultivos forrajeros en rotación con cultivos hortícolas. No conocemos cual podría ser la contribución potencial de la producción de carne vacuna al ingreso familiar y a la conservación del suelo en estos tipos de predios si se mejorara el manejo del sistema de producción animal y si se seleccionara el producto más adecuado para cada predio de acuerdo a su disponibilidad de recursos.

En los últimos 10 años la ganadería se ha vuelto una opción atractiva para los productores de Canelones. De acuerdo a la información suministrada por DICOSE (2011) proveniente de las declaraciones juradas anuales de stock animal, desde 2002 a 2010 el stock bovino en Canelones se incrementó 43 % (72600 cabezas) y casi la mitad de este incremento se debió al estrato de predios menores a 50 ha. En estos predios el stock bovino se incrementó más de 60% en dicho período. Muchos de estos predios combinan la ganadería con la horticultura, siendo este el sistema combinado más importante del sur de país. La ganadería se complementa bien con la horticultura porque es una actividad con bajo riesgo para la colocación del producto, tiene bajos requerimientos de mano de obra, y genera entradas de dinero con un peso importante en el flujo de caja (Cardozo *et al.*, 2008).

Es necesario explorar el potencial de incluir diferentes opciones de producción ganadera para incrementar la productividad de la tierra y de la mano de obra, sin deteriorar el suelo y disminuyendo la cantidad de insumos y energía por unidad de producto, en predios hortícolas familiares con distinta disponibilidad de recursos productivos. Los modelos bio-económicos son útiles para este propósito ya que permiten combinar información detallada sobre sus componentes y crear alternativas que consideren las limitaciones de recursos y los objetivos de los actores involucrados (Rossing *et al.*, 1997; Ten Berge *et al.*, 2000).

El objetivo de este estudio fue cuantificar el efecto de la inclusión de diferentes actividades de producción ganadera en la estructura del sistema de producción (predio) y en los resultados económico-productivos y ambientales de diferentes tipos de predios hortícolas, a fin de contribuir al diseño de sistemas de producción hortícola-ganaderos sostenibles aplicables a la producción familiar predominante en Canelones.

**Materiales y métodos**

Se realizó un estudio exploratorio a escala predial, siguiendo la metodología desarrollada por Dogliotti *et al.* (2005) (Figura 1), que constó de dos etapas principales. En la primera etapa se diseñaron una gran diversidad de actividades de producción vegetal (rotaciones) y de producción animal, y se estimó en forma cuantitativa sus requerimientos de recursos, resultado económico e impacto ambiental. Esta cuantificación se realizó fijando rendimientos objetivo alcanzables para cada sistema de manejo de acuerdo al método explicado por Van Ittersum y Rabbinge (1997). Se definió la combinación óptima de insumos y manejo para obtener el rendimiento objetivo, asumiendo el principio de ‘mejores prácticas de manejo’ (Hengsdijk y Van Ittersum, 2002). Esta combinación de rendimiento objetivo, insumos y técnicas fue específica del ambiente físico de Canelones,

caracterizado por el clima y los tipos de suelo de la región. Mejorar los resultados económicos de los predios, reducir la erosión y mejorar la fertilidad del suelo fueron las líneas directrices del proceso de diseño. En la segunda etapa, mediante un modelo de programación lineal multi-criterio fueron combinadas distintas actividades de producción vegetal y animal para construir un sistema teóricamente óptimo de acuerdo al objetivo optimizado y a las restricciones establecidas a nivel predial. El diseño del sistema predial se hizo utilizando como restricciones los recursos productivos disponibles en el predio y valores críticos pre-definidos de tasa de erosión y balance de materia orgánica del suelo.

Se seleccionaron dos predios como estudios de caso, pertenecientes a los dos grupos principales de la tipología construida por Righi *et al.* (2011) para predios hortícola-ganaderos de Canelones en base a información de DIEA (2001). Los dos grupos más importantes dentro de esta tipología representan al 60 y 13,4 % de los productores hortícola-ganaderos del departamento. Ambos grupos incluyen predios que tienen un promedio de área total de 20 a 25 ha, mano de obra totalmente familiar y un nivel de mecanización muy bajo. En el primer grupo no existe disponibilidad de riego y en el segundo parte de la superficie hortícola es regada (Dogliotti *et al.*, 2012). Los dos predios seleccionados fueron parte de los 16 predios participantes entre 2005 y 2010 de un proceso de co-innovación de sistemas

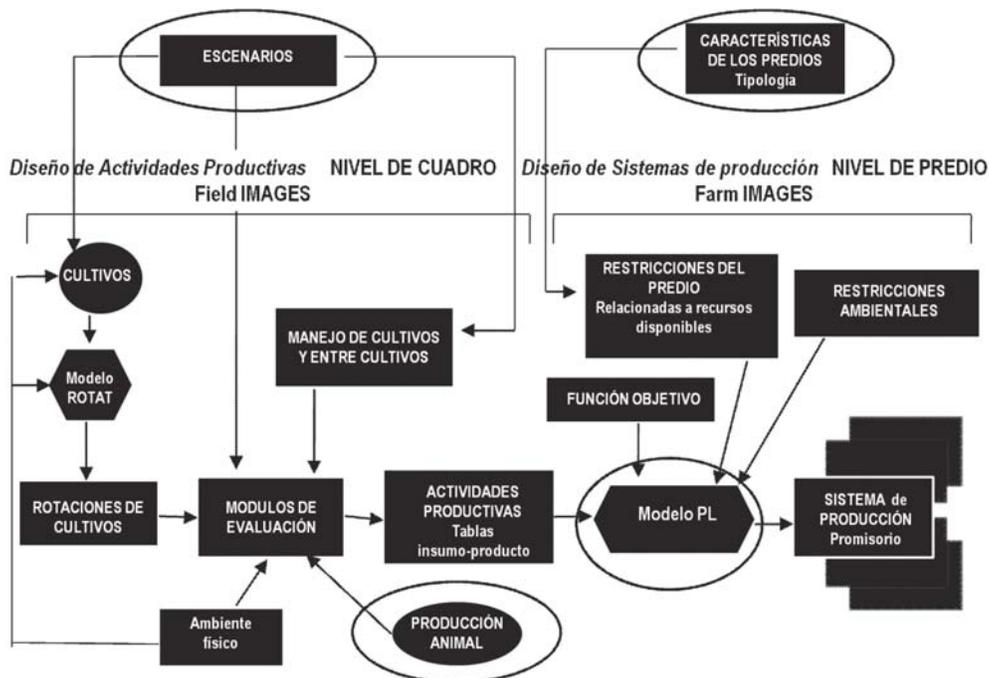


Figura 1. Esquema general de la metodología del estudio exploratorio y su relación con los modelos utilizados.

**Cuadro 1.** Características principales de los predios utilizados como estudio de caso y principales factores que estas características afectan.

Características	Predio 1	Predio 2	Factor que afectan
Superficie total (ha)	20	14,5	
Superficie cultivable (ha)	14,5	10	Área máxima para actividades productivas
Área regable (ha)	1	0	Rendimiento y opciones de cultivos hortícolas
Nivel de mecanización	Bajo	Bajo	Requerimientos de mano de obra y costos de producción
Suelos predominantes	Brunosoles	Vertisoles	Rendimiento de cultivos y pasturas
Textura horizonte A	36% Ac 34% L	48% Ac 35% L	Erodabilidad, balance de materia orgánica
Pendiente predominante (%)	2,5	3,5	Erosión
Contenido de materia orgánica (%)	2,3	3,2	Erodabilidad, balance de materia orgánica
Nivel de Erosión tolerable (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	5	5	
MOF disponible (h año <sup>-1</sup> )	4800	3600	Disponibilidad de mano de obra para actividades productivas
MOF disponible (h ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	331	360	Disponibilidad de mano de obra para actividades productivas
Máxima contratación MO (h año <sup>-1</sup> )	360	300	Disponibilidad de mano de obra para actividades productivas
Integrantes del núcleo familiar (personas)	5	2	Ingreso familiar mínimo
Ingreso familiar mínimo (\$ año <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	421260	168504	

<sup>1</sup>Puentes y Szogi, 1983. <sup>2</sup>Ingreso promedio per cápita en zonas rurales con población < 5000 habitantes (INE, 2009) \* N° de integrantes del núcleo familiar. Ac: arcilla. L: Limo MOF: Mano de obra familiar.

hortícolas y hortícola-ganaderos<sup>1</sup> (Dogliotti *et al.*, 2012). Ambos predios combinan producción hortícola con ganadería. Sus principales diferencias son la superficie cultivable, la disponibilidad de riego, el tipo de suelo predominante, su pendiente y el IF mínimo objetivo (Cuadro 1). El predio 2 representa al grupo mayoritario y el predio 1 al segundo en importancia dentro de la tipología.

Para el diseño y evaluación de rotaciones de cultivos, y cultivos y pasturas en distintos tipos de suelos (primera etapa, Figura 1), se desarrolló un paquete de modelos y herramientas informáticas llamado Field IMAGES, basado en el trabajo de Dogliotti *et al.* (2003; 2004). En primer lugar creamos una lista de cultivos hortícolas, cultivos forrajeros y pasturas (Cuadro 2) tomando en cuenta los que se realizaban en los predios seleccionados y los más importantes para la zona. En base a esta lista y a criterios agronómicos como fechas de inicio y fin de ciclo, largo del período entre cultivos, frecuencias máximas de especies y familias, y largo máximo de la rotación (Cuadro 2), el Field IMAGES genera todas las rotaciones posibles utilizando el modelo ROTAT (Dogliotti *et al.*, 2003). Estas rotaciones son luego combinadas con niveles de manejo (ej.: nivel de mecanización, riego o secano, manejo de cultivos, manejo de los períodos entre cultivos, etc.) para crear ‘actividades productivas’. En este estudio distinguimos únicamente rotacio-

nes sin riego, y un nivel intermedio y otro alto de riego. El manejo de malezas, plagas y enfermedades se diseñó con manejo cultural y uso racional de productos químicos, de acuerdo a las recomendaciones técnicas actuales en la región. La fertilización de cultivos y pasturas se calculó en base a la fertilidad de los suelos de los predios seleccionados y los rendimientos alcanzables estimados. El manejo de los períodos entre cultivos se diseñó para asegurar máxima cobertura de suelo y aporte de materia orgánica, combinando abonos verdes y aplicaciones de cama de pollo (García de Souza *et al.*, 2011).

Cada actividad productiva es luego evaluada para generar tablas de insumo-producto. El rendimiento alcanzable de cada cultivo en la rotación se estimó partiendo del rendimiento potencial multiplicado por factores de reducción relacionados a su frecuencia en la rotación, a su ubicación en la secuencia de cultivos y a si el cultivo es regado o en secano (Dogliotti *et al.*, 2004). En base al rendimiento alcanzable por cultivos, pasturas y abonos verdes en la rotación se cuantificó los requerimientos de mano de obra total y a lo largo del año, los costos de producción y el margen bruto, la erosión y el balance de materia orgánica, y la producción mensual de forraje por hectárea (materia seca, energía metabolizable, proteína cruda y fibra). Para permitir la posibilidad de que el forraje producido pueda ser vendido en

<sup>1</sup>Proyectos FPTA 160, FPTA 209 y EULACIAS (INCO-CT-2006-032387).



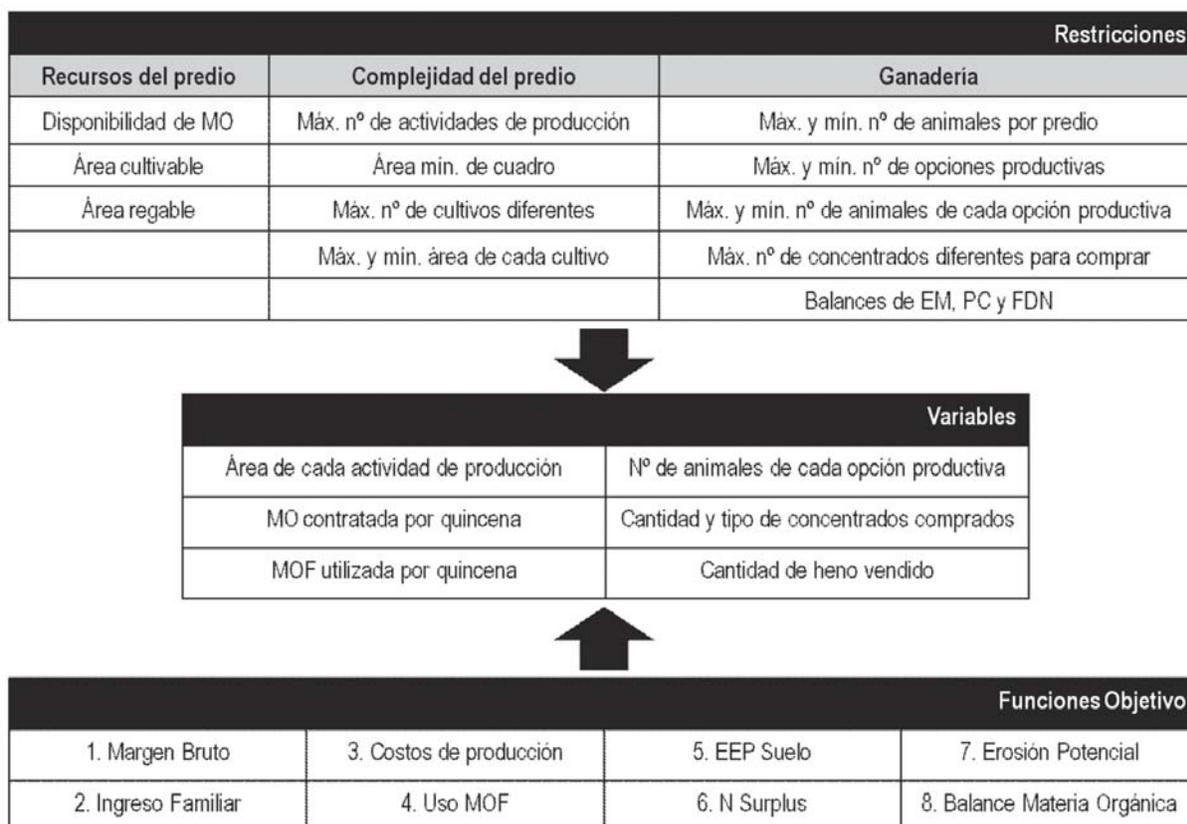
das de energía, proteína y fibra, estimadas en base al peso vivo inicial y a la evolución en el tiempo de la ganancia de peso vivo diario establecida como objetivo.

El consumo máximo potencial y los requerimientos de EM se estimaron en base a NRC (1984, 2000). Se permitió hasta un 20 % más de consumo en los animales de forma tal que los requerimientos de densidad energética y proteica de la dieta fueran similares a los indicados por NRC (1984, 2000). Los requerimientos de PC se estimaron según las tablas de requerimientos para cada categoría animal (NRC, 1984) y los requerimientos mínimos de FDN se establecieron en 22 % del consumo máximo potencial por ser valores que permiten un manejo de la alimentación con muy bajo riesgo de desórdenes digestivos y/o metabólicos (NRC, 2000) y por tanto sin muy altas exigencias en manejo y/o calificación de la mano de obra que opera el sistema.

Para diseñar el sistema de producción a nivel predial (segunda etapa, Figura 1), se mejoró un modelo de programación lineal multi-criterio llamado 'Farm IMAGES' (Dogliotti *et al.*, 2005). Con este modelo se combinaron las ac-

tividades de producción vegetal y animal de acuerdo al objetivo priorizado, a las restricciones establecidas en otros objetivos, y a la disponibilidad de recursos productivos (suelo, agua, mano de obra) de cada predio, para diseñar sistemas de producción que maximizaran el ingreso familiar y mantuvieran la erosión y el balance de materia orgánica por debajo y por encima de límites tolerables, respectivamente.

El Farm IMAGES es un modelo de programación lineal multicriterio que combina variables de decisión continuas y enteras. Maximiza una función objetivo, que puede cambiar en cada corrida del modelo y combina actividades de producción considerando restricciones técnicas y socioeconómicas específicas de cada predio. A su vez, determina el área que debe ser cultivada con cada una de las actividades de producción seleccionadas y el número de animales. Adicionalmente, calcula otras variables a nivel de predio como ser el tipo y la cantidad de suplementos comprados y la cantidad de mano de obra contratada (Figura 2). El modelo fue escrito, compilado y ejecutado utilizando Xpress Optimization Suite 7 (FICO™).



**Figura 2.** Modelo Farm IMAGES: variables, restricciones y funciones objetivo. EM: Energía metabolizable. PC: Proteína cruda. FDN: Fibra detergente neutro. MO: Mano de obra. MOF: Mano de obra familiar. EEP: Exposición ambiental a pesticidas. N: Nitrógeno.

El modelo Farm IMAGES, se mejoró en su habilidad de diseñar sistemas mixtos incluyendo las siguientes modificaciones: (i) la posibilidad de tener en cuenta y combinar diferentes tipos de actividades de producción animal (productos y tecnologías de producción), (ii) la posibilidad de incluir fuentes de alimentos para los animales externas al predio, y (iii) la posibilidad de tener en cuenta el flujo mensual de producción y calidad de forraje producido en el predio, así como la demanda mensual de energía, proteína y fibra por los animales. A los efectos de dimensionar las actividades de producción animal en el sistema de producción, la nueva versión del modelo resuelve un balance mensual y anual entre la oferta de nutrientes y la demanda de los animales (EM, PC y FDN). La oferta de nutrientes puede provenir del mismo predio o de fuentes externas al mismo, producto de la compra de fardos (pradera y/o alfalfa) y/o granos (maíz y/o afrechillo de trigo). La demanda mensual y total de los animales es función del número de animales presentes de cada alternativa de producción animal. La oferta de EM, PC y FDN en cualquier mes del año se aumentó 20 % por encima de la realmente producida como forma de tener en cuenta el traslado de nutrientes de un mes al siguiente (como forraje en pie) y/o el uso de reservas forrajeras producidas en el predio. La sobrestimación de la oferta total, que podría resultar de esta medida, se evitó realizando el balance anual de oferta y demanda ajustado a la oferta real. El modelo permite la elaboración de reservas de forraje que se calculan en función de los excedentes de setiembre a marzo. La pérdida de calidad de las reservas de forraje se estimó según información publicada por Mieres (2004) y NRC (2000) y se asumieron pérdidas de utilización del 20 %. En este estudio se restringió el consumo de concentrados y el de fardos, determinando que en ningún momento este supere el 1 % del peso vivo, asegurando que la base de la alimentación fuera la pastura.

Se realizaron tres ciclos de simulaciones para cada predio. En el primer ciclo se analizó el intercambio entre el ingreso familiar y la erosión del suelo. Para esto se maximizó el ingreso familiar bajo restricciones crecientes de nivel máximo de erosión tolerado y manteniendo siempre un balance positivo de materia orgánica del suelo. En el segundo ciclo se estudió el efecto del tipo de actividad ganadera realizada sobre el ingreso familiar y los costos de producción. Para esto se fijó el nivel de erosión máximo en  $5,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y se maximizó el IF restringiendo las opciones de producción animal a una diferente en cada ciclo de simulación. Por último se analizó la sensibilidad de

los resultados obtenidos frente a variaciones en el precio del ganado y en el precio de grano.

## Resultados

### Actividades de producción vegetal

Del total de actividades productivas diseñadas y cuantificadas utilizando el Field IMAGES, se seleccionaron 7437 para el predio 1 y 7455 actividades para el predio 2. El set de actividades seleccionado para ambos predios mostró una diversidad importante en margen bruto, costos directos, demanda de mano de obra, tasa de erosión, balance de materia orgánica del suelo, balance de N y producción de forraje (Cuadro 3). De acuerdo a las estimaciones del modelo, las tecnologías de manejo de suelo propuestas para las RH, RHP y RHF serían capaces de mantener un balance positivo de materia orgánica del suelo, pero no lograrían bajar la tasa de erosión por debajo del máximo tolerable para este tipo de suelos, establecido en  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  por Puentes y Szogi (1983). Las RHP y RHF que incluyen una fase de pasturas (praderas o alfalfa) son las que tuvieron menor erosión. La RF permitiría alcanzar una tasa de erosión promedio de  $2,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en ambos predios y un balance de materia orgánica de  $273$  y  $93 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en los predios 1 y 2, respectivamente. El margen bruto estimado en las RH sin riego varió de 17 a 73 y de 15 a 73 mil pesos por ha y por año para los predios 1 y 2, respectivamente, mientras que con riego el mismo varió entre 24 y 247 mil pesos por ha y por año para ambos predios.

### Actividades de producción animal

Se diseñaron seis actividades de producción animal: engorde de machos en ciclos largos (MCHCL1 y MCHCL2) o cortos (MCHCC), engorde de vaquillonas (VAQ) y engorde de vacas (V1 y V2) (Cuadro 4). La categoría utilizada como reposición varía entre terneros, sobreaños, novillos formados, terneras y vacas de refugio. Esta variable afecta el costo de reposición y por lo tanto los requerimientos de capital para llevar adelante la actividad.

Las ganancias promedio estimadas varían entre  $0,636$  y  $0,857 \text{ kg día}^{-1}$ , lo que se asocia a sistemas de producción intensivos en base a pasturas mejoradas y con suplementación estratégica. El ciclo de engorde varía de 4 a 17 meses lo que afecta la velocidad de circulación de capital. Las actividades con ciclo de engorde largo usan más mano de obra que las de ciclo corto ya que permanecen en el predio durante más tiempo e implican el manejo de dos lotes de animales en ciertas épocas del año (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Valores mínimos, máximos y mediana obtenidos para margen bruto, costos directos, requerimientos de mano de obra, tasa de erosión, balance de materia orgánica del suelo, balance de N y producción de forraje para las rotaciones hortícolas (RH), hortícolas con pasturas (RHP), hortícolas forrajeras (RHF) y forrajeras (RF) en los predios 1 y 2.

Tipo suelo y predio	Tipo rotación		Margen Bruto (\$ ha <sup>-1</sup> )	Costos Directos (\$ ha <sup>-1</sup> )	Mano Obra (horas ha <sup>-1</sup> )	Erosión (Mg ha <sup>-1</sup> )	MOS (kg ha <sup>-1</sup> )	N surplus (kg ha <sup>-1</sup> )	Prod. Forraje (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Prod. Forraje (Mcal ha <sup>-1</sup> )	
Brunosol - predio 1	RH	Mínimo	50593	18118	586	10,9	395	21,6	0	0	
		Máximo	247160	60958	2001	18,2	702	102	0	0	
		Mediana	152887	35732	1186	15,1	498	50	0	0	
	RHP	Mínimo	23925	11058	236	7,8	245	0,91	0	0	
		Máximo	213784	48562	1538	15	591	60,9	0	0	
		Mediana	126722	27861	874	11,3	437	25,2	0	0	
	RHF	Mínimo	16919	7841	229	7,8	247	40	1941	4557	
		Máximo	203754	45937	1532	15	483	105	4500	10961	
		Mediana	118249	25459	862	11,3	382	70	3152	7764	
	RF		No	6065	18,2	2,8	273	24,74	4282	10187	
	Vertisol - predio 2	RH	Mínimo	49011	17942	590	10,7	21	46	0	0
			Máximo	247160	60958	2001	19	333	124	0	0
Mediana			158240	36805	1226	15,4	141	72	0	0	
RHP		Mínimo	18275	9794	223	6,9	-28	7,4	0	0	
		Máximo	213784	48562	1538	14,9	286	70	0	0	
		Mediana	127808	28033	883	11,2	143	34	0	0	
RHF		Mínimo	15027	7106	216	6,9	-37	56	2336	5489	
		Máximo	203754	45937	1531	14,9	196	122	4994	12185	
		Mediana	118224	25434	868	11,3	93	88	3559	8716	
RF			No	5280	18,2	2,8	93	0.7157	5186	12329	

### Intercambio entre ingreso familiar y erosión del suelo

Cuando se maximizó el IF sin restricciones en el nivel de erosión, el IF estimado fue 523 y 256 mil pesos por año y la erosión estimada fue 10,0 y 8,9 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los predios 1 y 2, respectivamente. A medida que se restringió el nivel de erosión hasta llegar al nivel de tolerancia de 5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Puentes y Szogi, 1983), el IF descendió con mayor rapidez en el predio 2 (Figura 3). Bajar la erosión hasta un nivel tolerable implicaría una pérdida de 12 % y 31 % de IF en los predios 1 y 2, respectivamente. Sin embargo, aún dentro del nivel de erosión tolerable, en am-

bos predios pudo superarse el IF mínimo establecido como objetivo (Cuadro 1).

En ambos predios y a partir del nivel de erosión ≤7,5 el modelo incluyó a la ganadería en el sistema de producción (Cuadro 5). En el nivel de erosión ≤5,0 la ganadería participó con un 6 y 15 % del IF, e insumió 15 y 19 % de la mano de obra familiar utilizada en el sistema de producción en los predios 1 y 2, respectivamente. El capital requerido (CR) aumentó en la medida que disminuyeron los niveles de erosión permitidos, para ambos predios. Este aumento se debió a la incorporación de la ganadería en el sistema de

**Cuadro 4.** Caracterización de las actividades ganaderas diseñadas.

	MCH CL 1	MCH CL 2	MCH CC	VAQ	V1	V2
Categoría de reposición	Ternero	Sobreaño	Novillo > 300 kg	Tenera	Vaca refugo	Vaca refugo
Producto vendido	Novillo gordo especial	Novillo gordo especial	Novillo gordo especial	Vaquillona gorda especial	Vaca gorda especial	Vaca gorda especial
Peso de entrada (kg)	160	190	335	150	330	330
Peso de salida (kg)	505	535	515	417	438	432
Ganancia promedio (kg día <sup>-1</sup> )	0,676	0,676	0,857	0,636	0,720	0,850
Producción de carne (kg cabeza <sup>-1</sup> )	345	345	180	267	108	102
Época de entrada (mes)	junio	junio	mayo	julio	abril	julio
Época de salida (mes)	octubre	octubre	noviembre	agosto	agosto	octubre
Duración ciclo engorde (meses)	17	17	7	14	5	4
Costo reposición (\$ kg <sup>-1</sup> )	28,12	26,20	24,58	23,46	20,31	20,22
Precio venta (\$ kg <sup>-1</sup> )	29,13	29,13	25,68	27,08	27,08	25,23
Relación flaco/gordo	0,97	0,90	0,96	0,87	0,75	0,80
Costo reposición (\$ cabeza <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	4688	5157	8479	3685	6947	6917
Venta (\$ cabeza <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	13598	14404	12213	10427	10963	10059
Nº lotes (máximo)	2	2	1	2	1	1
Uso mano de obra (h año <sup>-1</sup> )	390	390	203	284	180	110
Margen primario (\$ cabeza <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	8780	9087	3634	6617	3941	3077
Energía metabolizable requerida (Mcal cabeza <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	9243	9857	4613	6674	3136	2711
Productividad de la mano de obra (\$ h <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	225	233	179	233	219	280
Productividad de la energía metabolizable (\$ Mcal <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	0,95	0,92	0,79	0,99	1,26	1,14

MCH CL 1= Engorde de machos en ciclo largo opción 1, MCH CL 2= Engorde de machos en ciclo largo opción 2, MCH CC= Engorde de machos en ciclo corto, VAQ=Engorde de vaquillonas, V1= Engorde de vacas opción 1, V2= Engorde de vacas opción 2. <sup>1</sup>Puesto en el predio asumiendo flete de 200 km. <sup>2</sup>Puesto en frigorífico asumiendo flete de 50 km. <sup>3</sup>Margen primario= Ingreso por venta - Costo reposición - Costo sanidad. <sup>4</sup> Productividad de la mano de obra (Asume lotes de 10 animales)= Margen primario\*10/Uso mano de obra. <sup>5</sup>Productividad de la energía metabolizable= Margen primario/Energía metabolizable requerida.

producción (Cuadro 5). La producción de carne aumentó al bajar el nivel permitido de erosión hasta  $\leq 6,5$  y  $\leq 7,5$  en los predios 1 y 2, respectivamente (Figura 4). El aumento en importancia de la ganadería resultó en un aumento de la superficie de pastoreo, fundamentalmente en el área asignada a la RF. Paralelamente, el área de cultivos hortícolas disminuyó, pero sin variar significativamente la selección de cultivos (Cuadro 6). Las RH no integraron la solución en ningún caso.

V2 y VAQ, solas o combinadas, fueron las actividades de producción animal seleccionadas en todos los casos. La producción animal se incorporó al sistema como una actividad intensiva con altas cargas (417 a 1042 kg PV ha<sup>-1</sup> ganadera promedio anual), con suplementación utilizando niveles importantes de concentrado (642 a 1345 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y con buenos resultados productivos (321 a 811 kg de PV ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). En el predio 2 la carga promedio anual, la utilización de concentrados y la producción de carne por ha fue siempre superior que en el predio 1 (Cuadro 7).

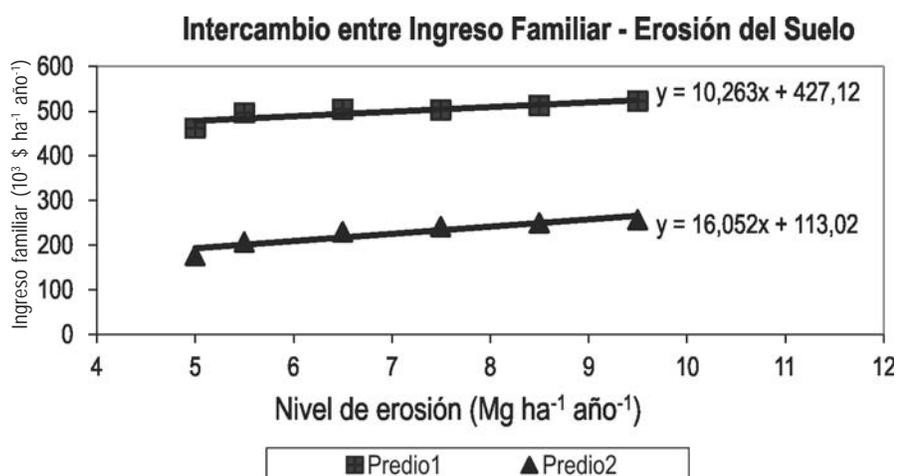
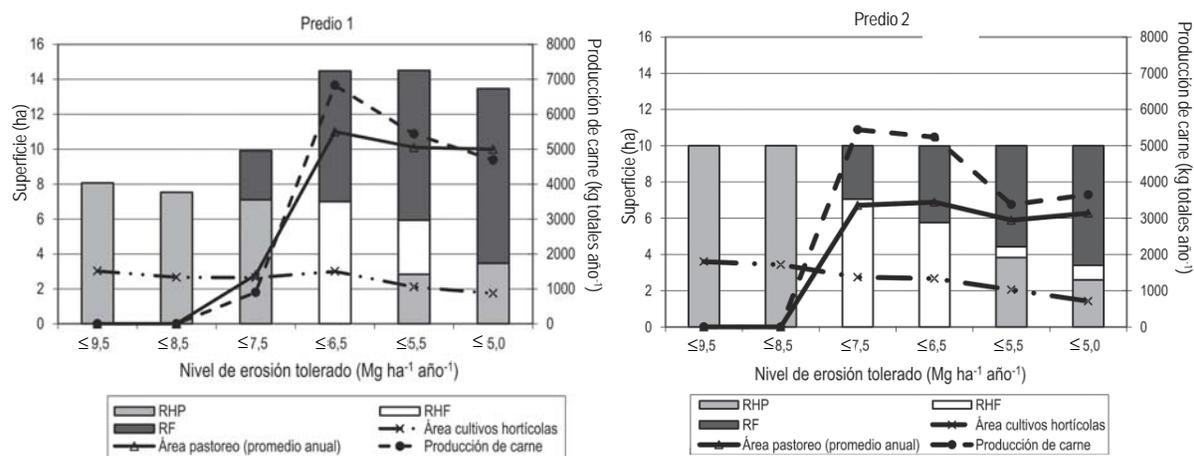


Figura 3. Intercambio entre ingreso familiar y erosión del suelo para los dos predios estudiados.

**Cuadro 5.** Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES en cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos.

Nivel de Erosión Tolerado	%IF Horti.	%IF Gan.	Uso MOF Total (h año⁻¹)	Uso MOF Horti. (h año⁻¹)	Uso MOF Gan. (h año⁻¹)	Uso MOC (h año⁻¹)	Capital requerido (\$ año⁻¹)
<b>Predio1</b>							
≤9,5	100	-	4631	4631	-	360	217462
≤8,5	100	-	4605	4605	-	360	208938
≤7,5	100	0	4674	4489	185	360	298289
≤6,5	85	15	4625	4015	610	360	338082
≤5,5	91	9	4692	4060	632	360	456911
≤5,0	94	6	4484	3822	662	360	421565
<b>Predio2</b>							
≤9,5	100	-	3519	3519	-	300	195462
≤8,5	100	-	3519	3519	-	300	191836
≤7,5	74	26	3519	3131	388	300	281097
≤6,5	74	26	3519	2977	542	300	379468
≤5,5	86	14	3344	2774	570	277	308995
≤5,0	85	15	3005	2421	584	109	301585

% IF Horti.= % del ingreso familiar generado por horticultura. %IF Gan.= % del ingreso familiar generado por ganadería. MOF= Mano de obra familiar. MOC= Mano de obra contratada.



**Figura 4.** Uso del suelo y producción de carne en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES en cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos.

**Cuadro 6.** Uso del suelo en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES en cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos.

Predio1														
Nivel de Erosión Tolerado	Área usada (ha)	Área regada (ha)	Ajo Temp (ha)	Cebolla (ha)	Puerro (ha)	Tomate (ha)	Calabacín (ha)	Boniatto (ha)	Repollo (ha)	Trigo (ha)	Alfalfa (ha)	Moha (ha)	Avena y Raigrás (ha)	Pradera 4 años (ha)
≤9,5	8,1	1	0,4	-	0,6	0,4	0,91	0,71	-	1,11	3,93	-	-	-
≤8,5	7,5	0,81	0,4	0,4	-	0,4	0,73	0,73	-	1,46	3,4	-	-	-
≤7,5	9,9	0,8	0,4	0,4	-	0,4	0,72	0,72	-	1,12	3,35	0,56	0,56	2,24
≤6,5	14,5	1	-	-	0,59	0,41	1	1	-	1	3	1,5	1,5	5,98
≤5,5	14,5	0,81	0,41	0,41	-	0,41	0,44	0,44	-	1,29	2,54	1,71	1,71	6,85
≤5,0	13,5	0,95	0,58	0,58	-	0,38	-	-	0,2	-	1,73	2	2	8

Predio2														
Nivel de Erosión Tolerado	Área usada (ha)	Área regada (ha)	Ajo Temp (ha)	Cebolla (ha)	Calabacín (ha)	Boniatto (ha)	Repollo (ha)	Trigo (ha)	Alfalfa (ha)	Pradera 3 años (ha)	Moha (ha)	Avena y Raigrás (ha)	Pradera 4 años (ha)	
≤9,5	10	-	0,26	-	1,67	1,41	0,26	1,67	5	-	-	-	-	
≤8,5	10	-	0,27	-	1,58	1,58	-	1,7	4,36	0,5	-	-	-	
≤7,5	10	-	0,56	-	1,09	1,09	-	1,09	3,27	-	0,59	0,59	2,36	
≤6,5	10	-	0,56	-	1,33	0,78	-	1,33	2,33	-	0,85	0,85	3,39	
≤5,5	10	-	0,65	0,1	0,65	0,65	-	0,65	1,94	-	1,11	1,11	5,45	
≤5,0	10	-	0,47	-	0,47	0,47	-	0,57	1,42	-	1,32	1,32	5,28	

**Cuadro 7.** Caracterización de la actividad ganadera en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para cada predio cuando se maximiza el ingreso familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos. V2= Engorde de vacas opción 2. VAQ= Engorde de vaquillonas.

Nivel de Erosión Tolerado	Actividad Ganadera	Carga Promedio (kg PV ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Producción de carne (kg ha <sup>-1</sup> )	Uso de concentrados (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Predio1</b>				
≤9,5	NO			
≤8,5	NO			
≤7,5	9 V2	417	321	842
≤6,5	22 V2 + 17 VAQ	799	620	1044
≤5,5	19 V2 + 13 VAQ	694	538	868
≤5,0	17 V2 + 11 VAQ	605	469	642
<b>Predio2</b>				
≤9,5	NO			
≤8,5	NO			
≤7,5	20 VAQ	1042	811	1209
≤6,5	17 V2 + 13 VAQ	981	761	1345
≤5,5	12 V2 + 8 VAQ	739	573	814
≤5,0	12 V2 + 9 VAQ	750	582	874

### Efecto del tipo de ganadería

En todas las situaciones estudiadas, cuando se maximizó el IF cambiando la opción de producción animal y limitando la erosión a  $\leq 5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , el modelo incluyó a la ganadería, excepto cuando la alternativa fue MCHCC (Figura 5). El cambio en la opción de producción animal elegida tuvo un impacto diferente en el IF según el predio considerado. En el predio 1 la mayor reducción observada en IF comparado con la situación en la cual el modelo pudo optar libremente (TODAS), fue de 9 %, mientras que en el predio 2 la reducción fue del 30 %. En ambos predios el mayor efecto sobre el IF se observó cuando el sistema de producción no incluyó animales (cuando la opción elegible fue MCHCC), donde la reducción fue de 17 y 53 % para predio 1 y predio 2, respectivamente.

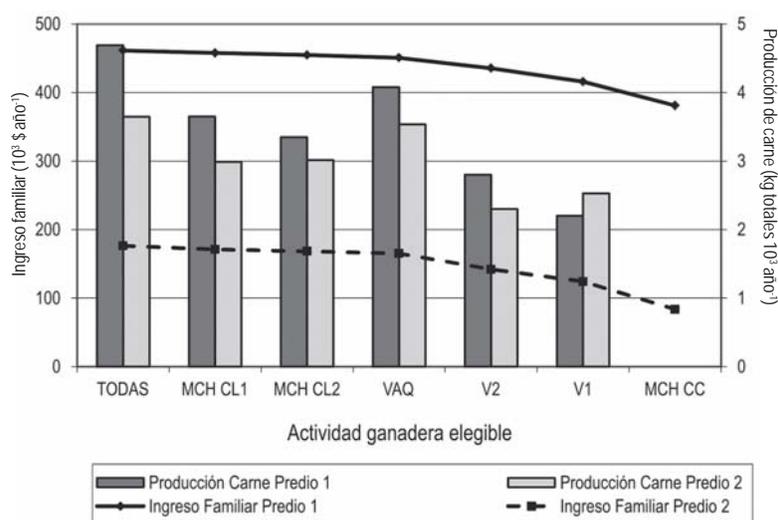
El grupo de actividades ganaderas conformado por MCHCL1, MCHCL2 y VAQ (GRUPO CL), al ser incorporadas al sistema de producción resultaron en un IF cercano al de TODAS, con una reducción promedio de 2 y 5 % para los predios 1 y 2, respectivamente (Figura 5). Por otro lado,

el CR para dicho grupo fue en promedio 29 y 26 % menor al de TODAS, para los predios 1 y 2, respectivamente (Cuadro 8). El GRUPO CL tuvo en ambos predios, una distribución de ingresos y uso de mano de obra similar al sistema diseñado con TODAS. La inclusión del engorde de vacas (V1 o V2) no generó una actividad de producción ganadera rentable en sí misma, reflejado por su escasísima o nula participación en el IF (Cuadro 8).

El uso de mano de obra en las actividades ganaderas disminuyó significativamente respecto de TODAS, especialmente cuando las opciones incluidas fueron VAQ, V1 y V2. El costo de reposición promedio para el GRUPO CL disminuyó 67 y 61 %, y el gasto en concentrados promedio disminuyó 42 y 31 % respecto al diseño con TODAS para los predios 1 y 2, respectivamente. Cuando se incluyeron vacas, el costo de reposición aumentó en promedio 5 % en el predio 1 y 37 % en el predio 2 (Figura 6). En cambio para las opciones V1 y V2 el uso de concentrados aumentó en promedio 20 % para el predio 1 y 44 % para el predio 2 (Figura 6).

**Figura 5.** Efecto del tipo del ganadería en el ingreso familiar y la producción de carne en sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas, con un nivel máximo de erosión tolerado para el promedio del área cultivada de 5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

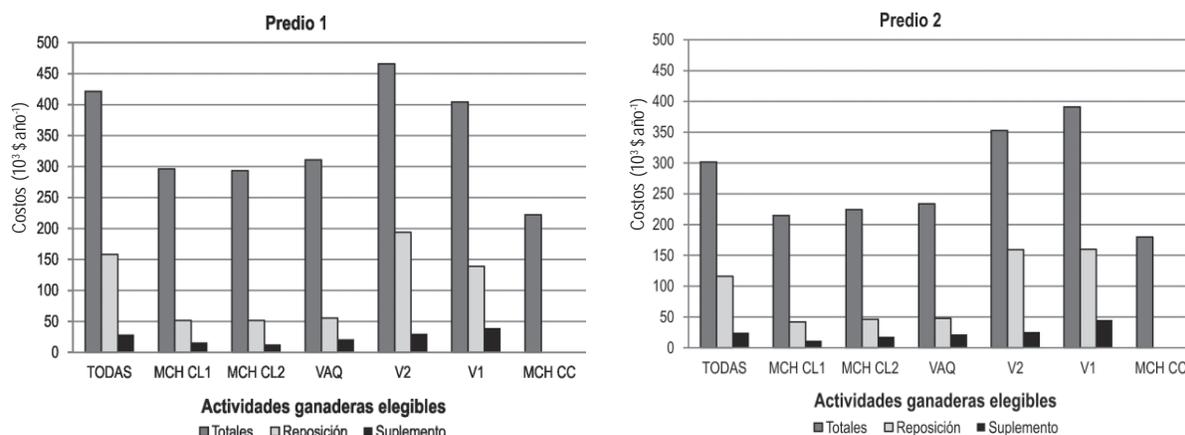
TODAS= Todas las actividades de producción ganaderas diseñadas, MCH CL 1= Engorde de machos en ciclo largo opción 1, MCH CL 2= Engorde de machos en ciclo largo opción 2, MCH CC= Engorde de machos en ciclo corto, VAQ= Engorde de vaquillonas, V1= Engorde de vacas opción 1, V2= Engorde de vacas opción 2.



**Cuadro 8.** Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas, con un nivel máximo de erosión tolerado para el promedio del área cultivada de 5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Actividades ganaderas elegibles	Actividad Ganadera	Area Gan. Promedio (ha año <sup>-1</sup> )	Capital requerido (\$ año <sup>-1</sup> )	%IF Horti.	%IF Gan.	Uso MOF Total (h año <sup>-1</sup> )	Uso MOF Horti. (h año <sup>-1</sup> )	Uso MOF Gan. (h año <sup>-1</sup> )	Uso MOC (h año <sup>-1</sup> )
<b>Predio 1</b>									
TODAS	17 V2 + 11 VAQ	10,0	421565	94	6	4484	3822	662	360
MCH CL1	11 MCH CL1	9,1	296105	96	4	4507	3869	638	360
MCH CL2	10 MCH CL2	9,1	293490	96	4	4507	3869	638	360
VAQ	15 VAQ	9,1	310782	97	3	4391	3874	517	360
V2	28 V2	9,2	466016	100	0	4293	3973	320	360
V1	20 V1	6,5	404527	100	0	3939	3596	343	360
MCH CC	NO	-	222253	100	-	3746	3746	-	360
<b>Predio 2</b>									
TODAS	12 V2 + 9 VAQ	6,3	301585	85	15	3005	2421	584	109
MCH CL1	9 MCH CL1	6,3	214755	86	14	2989	2409	580	120
MCH CL2	9 MCH CL2	6,3	224576	87	13	2989	2409	580	120
VAQ	13 VAQ	6,3	233838	89	11	2878	2420	458	109
V2	23 V2	6,3	352846	99	1	2701	2443	258	90
V1	23 V1	6,3	391229	100	0	2765	2427	338	105
MCH CC	NO	-	179795	100	-	2575	2575	-	90

TODAS= Todas las actividades de producción ganaderas diseñadas. MCH CL 1= Engorde de machos en ciclo largo opción 1. MCH CL 2= Engorde de machos en ciclo largo opción 2. MCH CC= Engorde de machos en ciclo corto. VAQ= Engorde de vaquillonas. V1= Engorde de vacas opción 1. V2= Engorde de vacas opción 2. % IF Horti.= % del ingreso familiar generado por horticultura. %IF Gan.= % del ingreso familiar generado por ganadería. MOF= Mano de obra familiar MOC= Mano de obra contratada.



**Figura 6.** Efecto del tipo de actividad ganadera en los costos de producción de sistemas diseñados por el Farm IMAGES para cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas, con un nivel máximo de erosión permitido para el promedio del área cultivada fue 5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. TODAS= Todas las actividades de producción ganaderas diseñadas. MCH CL 1= Engorde de machos en ciclo largo opción 1. MCH CL 2= Engorde de machos en ciclo largo opción 2. MCH CC= Engorde de machos en ciclo corto. VAQ= Engorde de vaquillonas. V1= Engorde de vacas opción 1. V2= Engorde de vacas opción.

### Análisis de sensibilidad

La estrategia general de diseño para obtener sistemas sostenibles no fue afectada por variaciones en el precio del ganado ni del grano, dentro del rango +/- 30 % de los precios utilizados como base para este trabajo (Cuadro 9). Para ambos predios, los sistemas de producción incluyeron la ganadería y en la mayoría de los casos la estrategia que maximizó el IF fue la combinación de V2 y VAQ. El comportamiento de cada opción ganadera individualmente con respecto a TODAS se mantuvo dentro de este rango de variaciones de precios.

### Discusión

#### Aportes de la ganadería a la sostenibilidad de los sistemas hortícolas de Canelones

En este estudio, utilizando un modelo bio-económico, demostramos que existe potencial para incrementar la productividad de la tierra y de la mano de obra, y a la vez mantener o mejorar la calidad del suelo en los dos predios familiares seleccionados, mediante sistemas productivos que mejoren la integración entre la horticultura y la ganadería. El IF estimado al inicio del proceso de co-innovación (año 2007 para el predio 1 y año 2005 para el predio 2), era de 75 y 70 mil \$ para los predios 1 y 2, respectivamente, valores estimados a precios constantes de julio de 2009. La

erosión promedio estimada en el mismo momento utilizando el modelo RUSLE era de 16,9 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el predio 1 y 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el predio 2. Al final del proceso de co-innovación (julio 2010) el IF era de 199 y 125 mil \$, y la erosión estimada era 7,8 y 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para los predios 1 y 2, respectivamente (Dogliotti *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos en este estudio permiten pensar que sería posible seguir incrementando el IF en 132 % en el predio 1 y 41 % en el predio 2, respecto al IF alcanzado en 2010 y manteniendo la erosión por debajo de 5 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3).

La inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícolas, permitiría reducir la erosión promedio del área cultivada. Al reducir el nivel de erosión admitido por debajo de 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el modelo redujo el área de hortalizas, e incluyó la RF en áreas cada vez mayores. Como consecuencia de esto, se redujo el IF 12 % y 31 % en los predios 1 y 2, respectivamente, pero se mantuvo por encima del IF mínimo objetivo en ambos predios. Incluir una fase de pasturas en las rotaciones hortícolas reduce el deterioro en la calidad del suelo que se da en la fase de cultivos, e incrementa el rendimiento de los cultivos (Do Campo *et al.*, 2010). La producción animal le da viabilidad económica a la inclusión de pasturas en el sistema hortícola (Dogliotti *et al.*, 2005). Esta estrategia de diseño de sistemas mixtos como base para la sostenibilidad es coincidente con trabajos internacionales (Schiere *et al.*, 2002; FAO,

**Cuadro 9.** Principales salidas de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para ambos predios cuando se maximiza el ingreso familiar con un nivel máximo de erosión tolerado para el promedio del área cultivada de 5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y se modifica el precio del ganado y de los granos.

	Predio 1		
	\$ ganado* 0,7/ \$ grano * 1,3	ganado* 1/ \$ grano *1	\$ ganado* 1,3/ \$ grano *0,7
Ingreso Familiar (\$)	429420	461511	628795
Uso del suelo (ha)	6,44 RF + 2,72 RH	10 RF + 3,46 RH	10,77 RF + 3,5 RH
Actividad ganadera	1 V2 + 7 MCH CL1	17 V2 + 11 VAQ	75 V2 + 25 V2
Producción de carne (kg)	2424	4692	10750
Uso de concentrados (kg)	1360	6420	76589
	Predio 2		
	\$ ganado* 0,7/ \$ grano * 1,3	ganado* 1/ \$ grano *1	\$ ganado* 1,3/ \$ grano *0,7
Ingreso Familiar (\$)	145626	176237	333369
Uso del suelo (ha)	6,33 RF + 3,67 RH	6,27 RF + 3,73 RH	6,33 RF + 3,67 RH
Actividad ganadera	2 V2 + 8 MCH CL1	12 V2 + 9 VAQ	13 V1 + 75 V2 + 12 VAQ
Producción de carne (kg)	2856	3648	12194
Uso de concentrados (kg)	1633	5477	69766

RF: Rotaicón forrajera RHP: Rotación hortícola V2: Engorde de vacas opción 2 MCH CL1: Engorde de machos en ciclo largo opción 1 VAQ: Engorde de vaquillonas V1: Engorde de vacas opción 1.

2009) y nacionales en otros rubros (Morón y Díaz, 2003; Deambrosi *et al.*, 2009).

La erosión mínima estimada para RHP y RHF fue de 7,8 y 6,9 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en los predios 1 y 2, respectivamente, mientras que la rotación forrajera tuvo una erosión estimada de 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Esos valores mínimos de erosión constituyen una limitante para mejorar la sostenibilidad de este tipo de predios. La máxima producción de carne se obtuvo en ambos predios con áreas importantes dedicadas a RHF y sin disminuir significativamente el área de cultivos hortícolas (Figura 4). Bajar la erosión de las RHF por debajo del máximo tolerable permitiría sistemas más productivos y más sostenibles del punto de vista de la calidad del suelo. Esto puede lograrse de dos maneras, reduciendo la frecuencia de cultivos hortícolas en la rotación y/o introduciendo nuevas tecnologías de manejo de suelo en horticultura que permitieran bajar la erosión manteniendo los rendimientos, como las prácticas de laboreo reducido (Scopel *et al.*, 2004; Adekalu *et al.*, 2007). En este estudio fijamos en 0,5 la frecuencia mínima de cultivos hortícolas en las rota-

ciones, lo cual resulta en de 4 años de cultivos hortícolas y 4 años de pastura en una rotación de 8 años. Reducir la duración de la fase de cultivos hortícolas en la rotación resulta en una reducción importante de la erosión promedio. García de Souza *et al.* (2011) estimaron que no es posible mantener un nivel de materia orgánica elevado en los suelos bajo horticultura únicamente mediante el uso de abonos verdes y cama de pollo, si a la vez no se reduce el número de laboreos mediante períodos más largos bajo pasturas o tecnologías de laboreo reducido. Estas tecnologías no fueron consideradas en este estudio por estar aún en fase experimental en la región (Alliaume *et al.*, 2012).

#### Efecto del tipo de ganadería

La combinación de las opciones V2 y VAQ fue la que maximizó el IF con niveles de erosión dentro del límite tolerable, en ambos predios. Sin embargo hemos presentado resultados que sugieren que la forma más apropiada de incluir la ganadería en los sistemas de producción familiar de Canelones es mediante el engorde de

MCHCL1, MCHCL2 o VAQ. Esta propuesta se fundamenta en que si bien estas alternativas no son las que maximizan el IF, la reducción en el ingreso (3 % promedio) es insignificante frente a la reducción en el costo de reposición de animales que va de 61 % a 67 %. Además este grupo de alternativas productivas tienen menores costos en concentrados, con una reducción de entre 31 y 42 % respecto a la combinación de actividades que maximiza el IF. Estas cualidades de las actividades del GRUPO CL son muy atractivas para productores familiares que en general tienen restricciones de capital, necesitan disminuir su dependencia de insumos externos y no pueden tomar riesgos importantes. Desde el punto de vista del nivel de complejidad del sistema y la demanda de atención por el productor para manejarlo adecuadamente, es preferible la opción de una alternativa ganadera en vez de la combinación de dos.

## Conclusiones

La investigación sugiere que la inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícolas familiares permitiría incrementar la productividad de la tierra y de la mano de obra, y a la vez mejorar la calidad del suelo, dentro de los límites de la disponibilidad de recursos actuales de los predios y de las condiciones de precios de los últimos años.

De las alternativas ganaderas evaluadas, las más apropiadas para incluir en sistemas hortícolas son el engorde de novillos o vaquillonas en ciclos de 14 a 18 meses, debido a que la reducción en el ingreso es mínima frente a la reducción en los costos de reposición de animales y de concentrados, lo que disminuye las necesidades de capital y la dependencia de insumos externos, dos cualidades muy importantes para este tipo de sistemas de producción.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la ANII por el apoyo con una Beca para Posgrados Nacionales.

## Bibliografía

- Adekalu KO, Olorunfemi IA, Osunbitan JA. 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology*, 98: 912 - 917.
- Alliaume F, Rossing WAH, García M, Giller K, Dogliotti S. 2012. Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms. *European Journal of Agronomy*, 46: 10 - 19.
- Baldi F, Mieres J, Banchemo G. 2008. Suplementación en Invernada Intensiva: La suplementación sigue siendo una alternativa económicamente viable. En: Jornada de Producción Animal. Montevideo: INIA. (Actividades de Difusión; 532). pp. 39 - 52.
- Buffa JI, Andregnette B, Simeone A. 2008. Evaluación del impacto económico y riesgo asociado a la incorporación de nuevas propuestas tecnológicas: Estudio en base modelos de decisión. En: Producción de carne eficiente en sistemas arroz-pasturas. Montevideo: INIA. (Serie FPTA ; 22). pp. 41 - 75.
- CAMM. 2009. Base de datos horti-frutícola Nacional [En línea]. Consultado julio 2009. Disponible en: <http://www4.mercadomodelo.net/datos/rango.php?mm=1>.
- Caravia V, Gonzales F. 1998. Evaluación de un sistema de engorde intensivo de vacas de descarte y caracterización de la carne producida [Tesis de Grado]. Montevideo: Facultad de Agronomía. 83p.
- Cardozo O, Aguerre V, Pérez JA, Capra G. 2008. Producción intensiva de carne vacuna en predios de área reducida. Montevideo: INIA. 97p. (Serie Técnica: 175).
- Deambrosi E, Montossi F, Saravia H, Blanco P, Ayala W. 2009. 10 años de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería. Montevideo: INIA. 208p. (Serie Técnica: 180).
- Díaz Lago JE, García JA, Rebuffo M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo: INIA. 12p. (Serie Técnica: 71).
- DICOSE. 2011. Declaraciones juradas anuales de stock bovino desde 2002 a 2010 [En línea]. Consultado octubre 2011. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/DGSG/DICOSE/dicose.htm>.
- DIEA. 2009. Productos, insumos, bienes de capital y servicios del sector agropecuario [En línea]. Consultado julio 2009. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxp001.aspx?7,5,56,O,S,0,MNU,E;39;15;MNU>.
- DIEA. 2001. Censo General Agropecuario 2000. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
- Do Campo R, García C, Rabuffetti A. 2010. Evolución del rendimiento y de las propiedades del suelo en diferentes secuencias de cultivos en producción hortícola. En: Seminario de actualización técnica: manejo de suelos para producción hortícola sustentable. Montevideo: INIA. (Actividades de Difusión; 624). pp. 33 - 50.
- Dogliotti S, Abedala C, Aguerre V, Albin A, Alliaume F, Alvarez J, Bacigalupe G F, Barreto M, Chiappe M, Corral J, Dieste J P, García de Souza MC, Guerra S, Leoni C, Malán I, Mancassola V, Pedemonte A, Peluffo S, Pombo C, Salvo G, Scarlato M. 2012. Desarrollo sostenible de sistemas de producción hortícolas y hortícola-ganaderos familiares: Una experiencia de co-innovación. Montevideo: INIA. 112p. (Serie FPTA ; 33).
- Dogliotti S, Rossing WAH, van Ittersum MK. 2005. Exploring options for sustainable development at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems*, 86: 29 - 51.
- Dogliotti S, Rossing WAH, Van Ittersum MK. 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.
- Dogliotti S, Rossing WAH, Van Ittersum MK. 2003. Rotat, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 19: 239 - 250.
- FAO. 2009. Livestock in the balance [En línea]. Roma: FAO. 166p. (The state of food and agriculture). Consultado marzo 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>.
- García JA. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Montevideo: INIA. 35p. (Serie técnica: 133).

- García de Souza M, Alliaume F, Mancassola V, Dogliotti S.** 2011. Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo en predios hortícolas del sur de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1): 70 - 81.
- Hengsdijk H, Van Ittersum MK.** 2002. A goal oriented approach to identify and engineer land use systems. *Agricultural Systems*, 71: 231 - 247.
- Herrero M, Thornton PK, Notenbaert A, Wood S, Msangi S, Freeman HA, Bossio D, Dixon J, Peters M, van de Steeg J, Lynam J, Parthasarathy Rao P, Macmillan S, Gerard B, McDermott J, Seré C, Rosegrant M.** 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327: 822-825.
- IAASTD.** 2008. Evaluación Internacional del papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola (IAASTD): Resumen de la evaluación mundial preparado para los responsables de la toma de decisiones. Washington: IAASTD. 45p.
- IFAD.** 2011. Rural Poverty Report 2011. Rome: IFAD. 317p.
- INE.** 2009. Ingreso promedio per cápita en zonas rurales con población < 5000 habitantes. [En línea]. Consultado julio 2009. Disponible en: <http://www.ine.gub.uy>.
- Lipton M.** 2005. The family farm in a globalizing world: The role of crop science in alleviating poverty. Washington: International Food Policy Research Institute. 29p.
- Lobell DB, Cassman KG, Field CB.** 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34: 179 - 204.
- MGAP.** 2004. Interpretación de la carta de erosión antrópica [En línea]. En: Interpretación de la carta de erosión antrópica. Consultado mayo 2008. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/renare/SIG/ErosionAntropica/mapaindices.jpg>.
- Mieres JM.** 2004. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo: INIA. 84p. (Serie Técnica ; 142).
- Morón A, Díaz R.** 2003. Simposio: 40 años de rotaciones Agrícolas Ganaderas. Montevideo: INIA. 86p. (Serie Técnica; 134).
- NRC.** 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th rev. ed. Washington: National Academy Press. 248p.
- NRC.** 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 6th rev. ed. Washington : National Academy Press. 90p.
- Pannone JC, García F, Rovira LA.** 1983. Erosividad de la lluvia en Uruguay. Montevideo: Ministerio de Agricultura y Pesca, INC-IICA. 36p.
- Puentes R, Szogi A.** 1983. Manual para el uso de la USLE en Uruguay. Montevideo: MAP. 80p. (Normas técnicas en conservación de suelos; 1).
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Mc Cool DK, Yoder DC.** 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: United States Department of Agriculture. 385p. (Agriculture Handbook; 703).
- Righi E, Dogliotti S, Stefanini FM, Pacini GC.** 2011. Capturing farm diversity at regional level to up-scale farm level impact assessment of sustainable development options. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 142: 63- 74.
- Rossing WAH, Meynard JM, Van Ittersum MK.** 1997. Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *European Journal of Agronomy*, 7: 271 - 283.
- Schiere JB, Ibrahim MNM, van Keulen H.** 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 90: 139 - 153.
- Scopel E, Da Silva FAM, Corbeels M, Affholder F, Maraux F.** 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi arid and humid tropical conditions. *Agronomie*, 24: 383 - 395.
- Ten Berge HFM, van Ittersum MK, Rossing WAH, van de Ven GWJ, Schans J, van de Sanden PACM.** 2000. Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy*, 13: 263 - 277.
- Van Ittersum MK, Rabbinge R.** 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52: 197 - 208.
- Wischeimer WH, Johnson CB, Cross BV.** 1971. A soil erodability nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26: 189 -193.