



INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

URUGUAY



**LOS SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN COMBINADOS
HORTÍCOLA-GANADEROS
COMO ALTERNATIVA
PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE DE
PRODUCTORES
FAMILIARES DE
CANELONES-URUGUAY**



INIA Las Brujas
1964 - 2014

Diciembre, 2014

SERIE
TÉCNICA

215
INIA

LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN COMBINADOS HORTÍCOLA- GANADEROS COMO ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE PRODUCTORES FAMILIARES DE CANELONES-URUGUAY.

Editores: Verónica Aguerre¹
Santiago Dogliotti²
Pablo Chilibroste³
Marion Casagrande⁴

1. Ing. Agr., M.Sc., Programa Nacional de Investigación en Producción Familiar, INIA Las Brujas.

2. Ing. Agr., PhD. Departamento de Producción Vegetal, Centro Regional Sur, Fac. Agronomía, Univ. de la República.

3. Ing. Agr., PhD. Departamento Producción Animal y Pasturas, Fac. Agronomía, EEMAC (Paysandú). Univ. de la República.

4. Ing. Agr., PhD. Farming Systems Ecology Group, Univ. Wageningen (Holanda).

Título: LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN COMBINADOS HORTÍCOLA-GANADEROS COMO ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE PRODUCTORES FAMILIARES DE CANELONES-URUGUAY.

Editores: Verónica Aguerre
Santiago Dogliotti
Pablo Chilibroste
Marion Casagrande

Serie Técnica N° 215

© 2014, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo, Uruguay.
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Roel - Presidente

D.M.T.V., PhD. José Luis Repetto - Vicepresidente



D.M.V. Álvaro Bentancur

D.M.V., MSc. Pablo Zerbino



Ing. Agr. Joaquín Mangado

Ing. Agr. Pablo Gorriti



CONTENIDO

| | Página |
|--|---------------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 El potencial de los sistemas de producción mixtos de contribuir al crecimiento sostenible de la producción de alimentos | 1 |
| 1.2 Situación actual y perspectivas de los sistemas de producción hortícola en el sur de Uruguay | 3 |
| 1.3 Estudios exploratorios: una herramienta científica para contribuir al diseño y discusión de estrategias de desarrollo sostenible | 6 |
| 1.4 Objetivo del estudio | 8 |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS | 8 |
| 3. RESULTADOS | 13 |
| 3.1 Actividades de producción vegetal | 13 |
| 3.2 Actividades de producción animal | 14 |
| 3.3 Intercambio entre ingreso familiar y erosión de suelo | 15 |
| 3.4 Efecto del tipo de ganadería | 20 |
| 3.5 Análisis de sensibilidad | 23 |
| 4. DISCUSIÓN | 23 |
| 4.1 Aportes de la ganadería a la sostenibilidad de los sistemas hortícolas de canelones | 23 |
| 4.2 Efecto del tipo de ganadería | 24 |
| 4.3 Consideraciones para definir estrategias de desarrollo regional..... | 25 |
| 5. CONCLUSIONES | 25 |
| 6. AGRADECIMIENTOS | 25 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Evolución del número de cabezas de ganado (en miles) en función del tamaño de predio en el departamento de Canelones, para el período 2002 - 2010. | 5 |
| Figura 2. Esquema general de la metodología del estudio exploratorio y su relación con los modelos utilizados. | 8 |
| Figura 3. Modelo Farm IMAGES: variables, restricciones y funciones objetivo. | 12 |
| Figura 4. Intercambio entre ingreso familiar y erosión del suelo para los dos predios estudiados. | 16 |
| Figura 5. 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. | 18 |
| Figura 6. 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 ⁻¹ año ⁻¹ | 20 |
| Figura 7. 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 ⁻¹ año ⁻¹ | 22 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Tipología de predios mixtos hortícola-ganaderos..... | 6 |
| Cuadro 2. Características principales de los predios utilizados como estudio de caso y principales factores que estas características afectan. | 9 |
| Cuadro3. Lista de cultivos seleccionados y reglas agronómicas para el diseño de las rotaciones y sistemas de manejo. | 10 |
| Cuadro 4. 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. | 14 |
| Cuadro 5. Caracterización de las actividades ganaderas diseñadas. | 15 |
| Cuadro 6. 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. | 17 |
| Cuadro 7. 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..... | 19 |
| Cuadro 8. 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..... | 19 |
| Cuadro 9. 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 ⁻¹ año ⁻¹ | 21 |
| Cuadro 10. 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 ⁻¹ año ⁻¹ y se modifica el precio del ganado y de los granos. | 23 |

LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN COMBINADOS HORTÍCOLA-GANADEROS COMO ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE PRODUCTORES FAMILIARES DE CANELONES-URUGUAY.

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. Con el objetivo de contribuir al diseño de sistemas de producción sostenibles aplicables a la producción familiar predominante en Canelones, en este estudio se cuantificó el efecto de la inclusión de diferentes tipos de producción ganadera en la estructura y en los resultados económico-productivos y ambientales de diferentes tipos de sistemas de producción hortícola. Se realizó un estudio exploratorio a escala predial con modelos de simulación utilizando dos predios como estudio de caso. Los resultados obtenidos posicionan a la ganadería como una opción viable para mejorar la sostenibilidad de sistemas de producción hortícolas, incluso en predios de pequeña escala (10 y 14,5 ha de superficie cultivable). La inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícola familiares permitiría incrementar la productividad de la tierra y de la mano de obra, y a la vez mejorar la calidad del suelo (con erosión dentro de los límites tolerables y un balance de materia orgánica positivo), dentro de los límites de la disponibilidad de recursos actuales de los predios y de las condiciones de precios de los últimos años. La estrategia general para lograrlo sería reducir el área de hortalizas, incluyendo rotaciones de hortalizas con alfalfa y pasturas, e incorporando áreas con rotaciones exclusivamente forrajeras. Esto permitiría mejorar los rendimientos de los cultivos hortícolas y a la vez incrementar la producción ganadera. 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.

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

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El potencial de los sistemas de producción mixtos de contribuir al crecimiento sostenible de la producción de alimentos.

Las estimaciones más conservadoras prevén que en menos de 40 años deberemos producir al menos 70% más de alimento que en la actualidad, sin tener en cuenta la producción de biocombustibles (Lobell *et al.*, 2009; Van

Ittersum, 2011). Este aumento de la demanda se explica básicamente por dos factores, el crecimiento de la población mundial proyectado en 30% para los próximos veinte años, alcanzando 8,3 billones para 2030 (UNPP, 2008) y el cambio de la dieta en países emergentes importantes como Brasil, China e India hacia un mayor consumo de alimentos de origen animal (Koning *et al.*, 2008; Van Ittersum, 2011). Las políticas energéticas predominantes en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), que tienen como objetivo llegar a

10% del abastecimiento con energía producida por biomasa, agregan otro elemento de inestabilidad, que junto al efecto del cambio climático configuran un escenario futuro del mercado mundial de alimentos con tendencias al aumento de los precios, pero también con incremento de la variabilidad entre años (Nonhebel y Kastner, 2011). Factores como la disponibilidad de agua, el cambio climático, e innovaciones tecnológicas en cultivos y producción animal de los pequeños agricultores, que son responsables de más de la mitad de la producción de alimentos a nivel mundial, son muy relevantes para definir las posibilidades de abastecer esta demanda en forma sostenible (FAO, 2009). Como resultado de este contexto, los sistemas de producción responsables de la seguridad alimentaria mundial, inevitablemente deben cambiar. Para hacer frente a este desafío deberán intensificarse sin comprometer los recursos naturales ni los medios de sustento y formas de vida de la población rural (Herrero y Thornton, 2011).

La Evaluación Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícola para el Desarrollo (IAASTD, 2008) reconoce la enorme contribución histórica de la ciencia y tecnología al aumento de los rendimientos, la nutrición y la riqueza acumulada, pero también reconoce que los logros han sido desiguales y que los éxitos han sido acompañados por consecuencias ambientales y sociales. El aumento de la producción no ha mejorado consistentemente el acceso a alimentos de los pobres del mundo. Donde la producción se ha intensificado, en general se han verificado costos tales como la eutrofización por lavado de fertilizantes, contaminación por pesticidas y pérdida de variedades locales. Dicha evaluación encontró que cambios estructurales en el gobierno, desarrollo y difusión de ciencia y tecnología son requeridos para que los beneficios sean compartidos más equitativamente y los impactos ambientales sean reducidos. Kiers *et al.* (2008) plantean que para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la humanidad los desafíos son: (i) reducir el hambre y la pobreza, (ii) mejorar los medios de sustento de la población rural y (iii) facilitar el desarrollo equitativo y sostenible.

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, especialmente la mayoría de los productos básicos consumidos por personas pobres (Herrero *et al.*, 2010). Por lo tanto los sistemas mixtos, que combinan cultivos y producción animal, son y seguirán siendo la clave para el crecimiento sostenible de la agricultura, especialmente de los pequeños productores (Herrero y Thornton, 2011). El desafío es asegurar que este tipo de sistemas sea capaz de evolucionar para alimentar a la creciente población humana, a través de una "intensificación ecológica" de la producción, donde se asume que mecanismos biológicos son capaces de reemplazar insumos químicos y físicos, o interactuar positivamente con ellos, jugando el mismo rol agronómico sin costos externos, incluyendo en particular los costos ambientales (Dorè *et al.*, 2011).

Tradicionalmente, los animales y particularmente los rumiantes han sido un activo para la sociedad mediante la conversión de biomasa de grandes áreas de pastoreo en productos utilizables por humanos como leche, carne, fibras, cuero y estiércol. Cuando la tierra es un factor limitante, un objetivo productivo muy importante es mantener o aumentar su calidad mediante el mantenimiento o aumento de la materia orgánica del suelo para asegurar la producción de alimentos en el largo plazo y para aumentar la producción por unidad de superficie. En el contexto mencionado anteriormente, de pequeños predios mixtos que requieren una intensificación ecológica, los animales pueden jugar un rol muy positivo en la sustentabilidad de los sistemas de producción, ayudando a mantener el rendimiento de los cultivos mediante el incremento del flujo de nutrientes o permitiendo a los productores la inclusión de cultivos con efectos benéficos, a partir de la conversión de su biomasa en productos con valor económico (como por ejemplo, fijación de nitrógeno atmosférico, liberación de fósforo inmovilizado, mantenimiento del suelo cubierto y reducción de la erosión, o aumento la materia orgánica del suelo) (Schiere *et al.*, 2002; FAO, 2009).

En Uruguay existen experimentos de largo plazo que demuestran las ventajas de los sistemas mixtos, en sistemas que combinan agricultura de secano-ganadería (Morón y Díaz, 2003) y arroz-ganadería (Deambrosi *et al.*, 2009). Dichos trabajos han demostrado la contribución a la sostenibilidad de los sistemas mixtos en relación a sistemas agrícolas puros.

La incorporación de rotaciones que alternan cultivos anuales con pasturas permanentes y la inclusión del engorde de ovinos y/o vacunos tiene las siguientes ventajas:

- A nivel de suelo mantienen o mejoran los niveles de C orgánico y N total, aumentan la macrofauna, mejoran las propiedades físicas y mantienen la erosión dentro de límites tolerables. Esto permite revertir los procesos de degradación de los suelos, recuperando potencial productivo.
- Contribuyen al control de malezas y enfermedades.
- La presencia de pasturas mejoradas en las rotaciones resulta en un dinamizador de los procesos de producción animal con un aumento significativo de la producción de carne. La alta productividad de las mismas posibilita un aumento de la carga animal, manteniendo buen comportamiento individual; y la suplementación permite estabilizar la alta producción de carne en niveles superiores.
- Mayor estabilidad y mejor comportamiento a nivel de rendimientos relativos de grano y forraje, evaluado en términos de carne/ha, y también mejores resultados económicos.
- La diversificación de actividades permite atenuar el riesgo frente a variaciones climáticas y de precios, permitiendo revertir, compensar o atenuar los impactos negativos de uno de los rubros en los resultados económicos globales del sistema.

A nivel de sistemas hortícolas de nuestro país, en una exploración de opciones de desarrollo sostenible para sistemas familiares de la zona sur, Dogliotti *et al.* (2005) concluyen que la introducción de la producción animal, a través del engorde de ganado vacuno

en sistemas hortícolas, es potencialmente beneficiosa para la sostenibilidad en predios con más de 10 ha de área cultivable y disponibilidad de mano de obra inferior a 650 horas ha⁻¹. Su impacto en el margen bruto es en general bajo excepto en predios sin disponibilidad de riego, con bajo porcentaje de suelos de alta calidad y de gran tamaño en relación a la mano de obra disponible. En estos casos su inclusión en el sistema fue de gran impacto en la sostenibilidad física y en el ingreso familiar por su interacción positiva en el rendimiento de los cultivos hortícolas.

1.2 Situación actual y perspectivas de los sistemas de producción hortícola en el sur de Uruguay.

Según el Censo del 2000, en el departamento de Canelones, se concentraba el 46,7 % del área hortícola del país, existiendo 2904 explotaciones que tenían a la horticultura como fuente de ingresos principal y 781 que la tenían como segunda o tercera fuente de ingresos (DIEA, 2001). De acuerdo a Tommasino y Bruno (2005), el 88% de los predios hortícolas son de tipo familiar.

Asimismo, Canelones es la zona del país con mayor incidencia y severidad de erosión en los suelos (MGAP, 2004). Estimaciones realizadas por Cayssials (1978) indican que entre un 60 y 70% de estos suelos presentan grados de erosión moderada a severa. García de Souza *et al.* (2011) detectaron un deterioro en la calidad del suelo (Vertisoles rúpticos y Brunosoles eútricos/subeútricos/lúvicos) en áreas cultivadas con horticultura, evidenciada en una pérdida promedio de carbono orgánico entre 31 a 44% y de la estabilidad estructural de 0,40 mm respecto a la situación de suelos imperturbados; lo que desde el punto de vista productivo repercute en un menor contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes, en la pérdida de estructura y compactación del suelo, en el aumento del riesgo de erosión, en una mayor dificultad para la exploración radicular para la infiltración y percolación del agua, y por lo tanto en un menor suministro de agua

para los cultivos. Considerando este estado actual de los suelos, se puede asumir como pérdida de suelo tolerable, es decir como la máxima pérdida de suelo permisible para mantener el nivel de productividad en forma económica sostenida, un nivel de 5 Mg ha⁻¹ (toneladas por ha) (Puentes y Szogi, 1983).

Los productores hortícolas uruguayos se han enfrentado durante los últimos 20 años a precios decrecientes de las hortalizas 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 con menor cantidad de cultivos y aumentar 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, en forma integral 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.*, 2014). 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 (Dogliotti *et al.*, 2012). No conocemos cual podría ser la contribución potencial de la producción de carne vacuna al ingreso familiar y a la conservación del suelo en este tipo 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 verificó en el estrato de predios menores a 50 ha (Figura 1). 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 éste el sistema combinado más importante del sur del 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) desarrollaron propuestas tecnológicas de engorde de vacunos, diseñadas específicamente para sistemas de producción que combinen horticultura con ganadería y plantean que el desarrollo de propuestas productivas para este tipo de predios deberá considerar aspectos tales como:

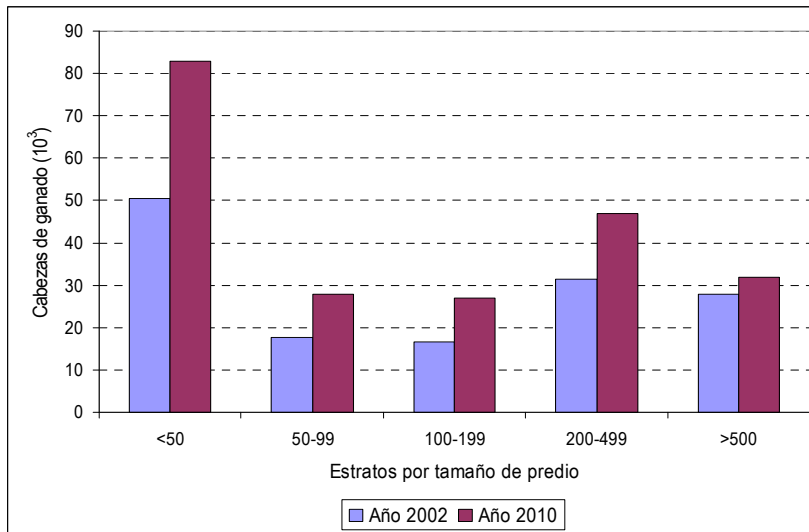


Figura 1: Evolución del número de cabezas de ganado (en miles) en función del tamaño de predio en el departamento de Canelones, para el período 2002 - 2010 (DICOSE, 2011).

- Diferenciación y valorización de productos, definiéndolos en base a la interacción con la industria. Esto implica considerar aspectos vinculados a la calidad del producto, probablemente asociados al establecimiento de protocolos de producción y a un estricto seguimiento técnico.
- Intensificación de los sistemas de producción, con un aprovechamiento racional de la eficiencia de los procesos biológicos, apostando a la productividad.
- Armonización de los flujos monetarios y de trabajo de la globalidad del sistema, mediante una adecuada combinación de actividades. La diversificación de actividades es deseable como mecanismo de atenuar riesgo, pero también es imprescindible un grado razonable de especialización para asegurar capacitación y profesionalismo.

Como aspectos clave de su propuesta, los autores plantean que la producción ganadera deberá orientarse hacia el engorde de animales obteniendo productos diferenciados, de máxima calidad y homogéneos, que cumplan las especificaciones que define la industria para recibir un sobreprecio.

Los ciclos de producción deben ser cortos, se procura generar varios momentos de venta en el año. En relación a la reposición, recomiendan comprar animales jóvenes y livianos (terneros/as), tratando de reducir costos de comercialización y apuntando a compras directas en predios criadores. El objetivo es lograr un sistema de producción estable, apostando a la productividad del sistema y no a negocios especulativos. Sin embargo, los sistemas deben ser flexibles de manera de aprovechar oportunidades de negocios en coyunturas favorables. Proponen sistemas intensivos, manejando altas cargas, incorporando la suplementación con fardos en el período otoño-invernal y la suplementación estratégica con granos. El manejo sanitario deberá ser estricto. Recomiendan utilizar altos porcentajes de pasturas mejoradas. El buen manejo del forraje mediante la incorporación del alambrado eléctrico y el uso de franjas es clave para lograr una buena utilización del mismo. En relación a la venta de productos consideran fundamental el anclaje de este tipo de productores a los sistemas comerciales y la integración horizontal (asociación entre productores) y vertical (asociación de productores con la industria).

Cuadro 1. Tipología de predios mixtos hortícola-ganaderos (Dogliotti *et al.*, 2012).

| | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 | Tipo 5 | Tipo 6 | Tipo 7 | Tipo 8 | Tipo 9 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| % de la población representado por cada Tipo | 60 | 13,4 | 7,6 | 4,3 | 4,1 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,1 |
| Area total predio (ha) | 21,4 | 25,4 | 71,6 | 32,5 | 58,1 | 31,9 | 39,7 | 36 | 181,4 |
| Area cultivos hortícolas (ha) | 3,1 | 4,9 | 4,8 | 5,6 | 7,9 | 2,6 | 2,9 | 5,3 | 18,8 |
| Area cultivos protegidos (ha) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,1 |
| Area cultivos forrajeros ¹ (ha) | 3,1 | 3,1 | 22,6 | 6,4 | 12,2 | 3,7 | 8,3 | 7,3 | 62,6 |
| Cantidad Bovinos (UG) | 14,1 | 17,4 | 46,4 | 20,5 | 32,3 | 19,7 | 20,5 | 23,7 | 112,5 |
| Trabajadores familiares (n°) | 2,3 | 2,7 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 3,3 | 3,3 | 2,3 | 2,6 |
| Asalariados permanentes (n°) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,1 | 2,5 | 1,7 |
| Trabajo zafraí contratado | 2,7 | 5,1 | 5,7 | 13,7 | 97 | 10 | 34,7 | 8,9 | 89,4 |
| Nivel de mecanización ² | 1 (59%) | 2 (36%) | 3 (33%) | 2 (34%) | 2 (36%) | 1 (37%) | 2 (40%) | 2 (46%) | 4 (50%) |
| Area regada (ha) | 0 | 2,5 | 0,2 | 1,5 | 1,8 | 1,1 | 2 | 1,3 | 2,5 |

¹. Cultivos forrajeros incluyen praderas y verdeos

². Nivel de mecanización: 1 = solo tracción animal; 2 = un tractor y aperos básicos de labranza; 3 = tractor, aperos básicos y pulverizadora; 4 = 2 tractores, pulverizadora y demás; 5 = más de dos tractores, pulverizadora y demás.

Más recientemente, y vinculado a los sistemas de producción hortícola en el sur de Uruguay, Righi *et al.* (2011) construyeron una tipología de predios hortícolas de Canelones, mediante análisis de cluster, escalas multidimensionales y análisis de porcentajes de similaridad; en base a información de DIEA (2001). En relación a los sistemas mixtos hortícola-ganaderos se utilizaron como variables clasificatorias: área total del predio, área de cultivos hortícolas, área de cultivos protegidos, área de cultivos forrajeros, cantidad de bovinos, número de trabajadores familiares, número de asalariados permanentes, número de jornales contratados por año (zafrales), nivel de mecanización y área regada. Fueron identificados nueve grupos que difieren principalmente en el uso de mano de obra contratada, nivel de mecanización y superficie regada (Cuadro 1). El grupo más importante dentro de esta tipología (Tipo 1) representa el 60% de los productores hortícola-ganaderos del departamento y el segundo en importancia (Tipo 2) representa a un 13,4% de los mismos. Ambos grupos incluyen predios que tienen un promedio de área total de 20 a 25 ha, la mano de obra es familiar y el nivel de mecanización es bajo. La diferencia principal entre ambos es el riego, en el primer grupo no existe y en el segundo parte de la superficie hortícola es regada. (Dogliotti *et al.*, 2012).

1.3 Estudios exploratorios: Una herramienta científica para contribuir al diseño y discusión de estrategias de desarrollo sostenible.

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).

Los estudios exploratorios sobre uso del suelo representan un abordaje que tiene por objetivo combinar conocimiento de procesos biofísicos de la producción agrícola, objetivos de los actores involucrados y variables externas para revelar una ventana de oportunidades desde un punto de vista agro-económico (van Ittersum *et al.*, 1998). Pueden ser usados a distintos niveles de agregación de sistemas agrícolas, escala global, regional o predial. Los modelos son normalmente utilizados como herramienta para integrar

todo este tipo de información y para generar escenarios de uso de suelo. El uso de los mismos permite evaluar una gran cantidad de opciones, además de que ayuda a comprender el funcionamiento de todo el sistema de producción. En este proceso, los modelos son usados en forma exploratoria, en oposición a la predictiva. En lugar de tener como foco predecir cuales son los sistemas óptimos, el foco de las exploraciones es diseñar sistemas posibles en relación a los objetivos de los actores involucrados; como consecuencia, los resultados se presentan como opciones en lugar de recomendaciones (Rossing *et al.*, 1997).

La modelización predial exploratoria es un método que integra componentes del conocimiento a escala de cultivos y animales, con los objetivos de los productores y variables externas, para proyectar las consecuencias de cambios estratégicos a nivel del predio y que permite identificar opciones técnicamente viables, para que distintos tipos de unidades de producción puedan desarrollarse (o no) en forma sostenible, en el marco de diferentes escenarios futuros compuestos por cambios esperados en las variables principales que afectan a los sistemas de producción (Rossing *et al.*, 1997; Ten Berge *et al.*, 2000). De esta forma, contribuyen al pensamiento estratégico de productores y otros actores durante el proceso de re-diseño de los predios (Dogliotti *et al.*, 2003).

En los estudios exploratorios, la definición de opciones de uso de suelo pasa por la definición de actividades de producción, por ejemplo un cultivo o rotación de cultivos en un ambiente físico particular, completamente especificado por sus entradas y salidas. Para realizar este procedimiento, van Ittersum y Rabbinge (1997) sugieren un abordaje de "orientación por objetivos", donde se ajusta y define una combinación óptima de insumos y manejo para obtener un rendimiento particular en determinado ambiente, asumiendo el principio de "mejores medios técnicos", por ejemplo en relación al nivel de conocimiento y técnicas disponibles actual. Otro concepto importante en la definición de

las entradas y salidas que plantean estos autores es el de "orientación productiva", que implica a los objetivos y restricciones que dirigen la elección de las técnicas de producción en un ambiente particular, como por ejemplo alta productividad, alta eficiencia en el uso de recursos, baja emisión por unidad de producto o por área, o el no uso de insumos químicos.

Según Hengsdijk y van Ittersum (2002) métodos de extrapolación como proyecciones del pasado y presente no son adecuados para captar oportunidades futuras, debido a que se asocian con uso ineficiente de recurso, conocimiento y habilidades inadecuadas y barreras estructurales que oscurecen la ventana de oportunidades. Se debe adoptar una orientación al futuro con un abordaje por metas, en donde las opciones de uso del suelo consideradas deben cumplir con dos condiciones importantes. Primero, deben ser posibles desde un punto de vista biofísico y deben ser realizables desde un punto de vista técnico. Segundo, deben comparar una variedad contrastante de alternativas que permitan alcanzar objetivos diferentes (y a veces contrapuestos) de manera que a priori ninguna opción es excluida y la ventana de oportunidades permanece abierta y transparente.

Para la definición del nivel de producción o rendimiento objetivo y la cuantificación de entradas y salidas de las actividades de producción, siguiendo el enfoque de orientación por objetivos planteado anteriormente, Van Ittersum y Rabbinge (1997) proponen el uso de una jerarquía de factores de crecimiento utilizando conceptos de ecología de producción. Para la producción vegetal dicha jerarquía implica tres grupos de factores: (i) factores definitorios del rendimiento potencial: concentración de CO₂, temperatura, radiación y las características genéticas de los cultivos, (ii) factores limitantes del rendimiento: disponibilidad de agua y nutrientes, determinado por la calidad del suelo y su manejo, y (iii) factores reductores del rendimiento: incidencia de malezas, pestes y enfermedades. Van de Ven *et al.* (2003)

proponen el uso de estos mismos conceptos pero a nivel de la producción animal, planteando como determinantes del potencial de producción el clima (temperatura y horas luz) y las características genéticas de los animales incluyendo el sexo; como factores limitantes la disponibilidad de agua y alimento y como factores reductores enfermedades, contaminantes y condiciones sub-óptimas de bienestar animal.

Utilizando los conceptos planteados anteriormente, Dogliotti *et al.* (2003, 2004 y 2005) desarrollaron una metodología que permite explorar opciones de desarrollo sustentable a escala de predio en sistemas hortícolas del sur de Uruguay, en base a estudios exploratorios de uso del suelo a escala predial con modelos bio-económicos. La misma se divide en dos etapas principales. En la primera se diseña y evalúa un número muy grande de actividades de uso de suelo a escala de cuadro. En la segunda etapa, se diseñan sistemas de producción por la asignación óptima de actividades de uso de suelo a los distintos cuadros del predio, como función de la disponibilidad de recursos disponibles y de prioridades dadas a distintos objetivos utilizando programación lineal multiobjetivo (De Wit *et al.*, 1988).

1.4 Objetivo del estudio

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

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio exploratorio a escala predial, siguiendo la metodología desarrollada por Dogliotti *et al.* (2005) (Figura 2), que constó de dos etapas principales. En la primera etapa se diseñó 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

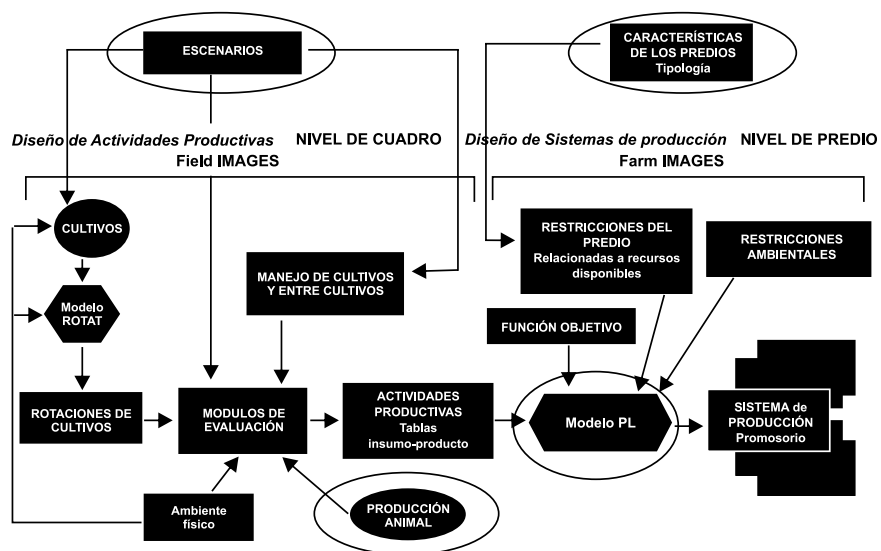


Figura 2. Esquema general de la metodología del estudio exploratorio y su relación con los modelos utilizados.

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. Las líneas directrices del proceso de diseño en este trabajo fueron mejorar los resultados económicos de los predios, reducir la erosión y mejorar la fertilidad del suelo. En la segunda etapa, mediante un modelo de programación lineal multicriterio 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 hortícolas y hortícola-ganaderos (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 ingreso familiar mínimo objetivo (Cuadro 2). 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 cultivo, 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 se creó 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

Cuadro 2. Características principales de los predios utilizados como estudio de caso y principales factores que estas características afectan. Ac: arcilla L: limo MOF: Mano de obra familiar ¹ Puentes y Szogi, 1983. ² Ingreso promedio per cápita en zonas rurales con población < 5000 habitantes (INE, 2009) * N° de integrantes del núcleo familiar.

| 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 ⁻¹ año ⁻¹) ¹ | 5 | 5 | |
| MOF disponible (h año ⁻¹) | 4800 | 3600 | Disponibilidad de mano de obra para actividades productivas |
| MOF disponible (h ha ⁻¹ año ⁻¹) | 331 | 360 | Disponibilidad de mano de obra para actividades productivas |
| Máxima contratación MO (h año ⁻¹) | 360 | 300 | Disponibilidad de mano de obra para actividades productivas |
| Integrantes del núcleo familiar (personas) | 5 | 2 | Ingreso Familiar mínimo |
| Ingreso familiar mínimo (\$ año ⁻¹) ² | 421260 | 168504 | |

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 cuantificaron 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 lugar de ser utilizado en el predio, también se estimó la cantidad de fardos producidos y los resultados económicos de su producción. A esta opción se le llamó 'rotaciones hortícolas con pasturas' (RHP) y a la opción de utilizar todo el forraje para alimentación animal en el predio, se le llamó 'rotaciones hortícola-forrajeras' (RHF). Las rotaciones que solo incluían cultivos hortícolas y abonos verdes se las agrupó como 'Rotaciones Hortícolas' (RH). Se creó una opción llamada 'rotación forrajera' (RF) consistente en una rotación de cinco años: pradera-avena y raigrás-moha.

Para el cálculo de los resultados económicos se utilizó como fuente de información una serie histórica de precios (2005-2008) de productos hortícolas (CAMM, 2009), y de insumos y precios de ganado (DIEA, 2009), transformados a precios constantes de julio de 2009 utilizando la Unidad Indexada, y luego promediados para obtener un valor promedio mensual de la serie histórica. Para la estimación de la erosión se

utilizó el modelo RUSLE (Renard *et al.*, 1997). La erodabilidad de los suelos se estimó con la ecuación de Wischeimer *et al.* (1971), modificada para las condiciones de Uruguay por Puentes y Szogi (1983). La erosividad promedio anual de la lluvia ($400 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ año}^{-1} 10^{-1}$) y su distribución a lo largo del año para Canelones se tomó de Pannone *et al.* (1983). El balance de materia orgánica se simuló para un lapso de 40 años utilizando el modelo ROTSOM desarrollado y ajustado para la región por Dogliotti *et al.* (2004). La producción mensual de forraje se estimó usando como fuentes de información a García (2003) y Díaz Lago *et al.* (1996) para producción de materia seca, y Mieres (2004) y NRC (2000) para el aporte de energía metabolizable (EM), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN).

El número de actividades productivas diseñadas y cuantificadas por el Field IMAGES superó ampliamente la capacidad computacional del modelo de programación lineal. Por lo tanto, de la población de actividades diseñadas se seleccionó una muestra representativa, siguiendo el procedimiento diseñado por Dogliotti *et al.* (2005).

El diseño de actividades ganaderas (Fotos 3 y 4) se orientó al engorde de animales, buscando obtener productos de máxima calidad capaces de satisfacer los requerimientos del sector industrial y que pudieran recibir el mejor precio. Las actividades utilizan como base pasturas mejoradas, pastoreo rotativo con cambio de franja muy frecuente, alta carga instantánea animal, suplementación con fardo



Fotos 3 y 4. Actividades ganaderas: uso de pasturas mejoradas, pastoreo rotativo y suplementación estratégica.

y granos, y un estricto manejo sanitario. Los ciclos de producción son cortos y se procuran varios momentos de venta en el año. Las opciones consideradas generan variabilidad en relación a aspectos clave de la actividad ganadera, como ser la categoría de reposición, el producto final, los momentos de entrada y salida de animales, la duración del ciclo de engorde, la producción de carne por animal y la demanda de mano de obra. Fueron diseñadas utilizando el conocimiento experto propio y referencias nacionales (Cardozo *et al.*, 2008; Baldi *et al.*, 2008; Buffa *et al.*, 2008; Caravia y Gonzales, 1998). Las actividades de producción animal fueron evaluadas considerando el consumo máximo potencial y las demandas 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.

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 multicriterio llamado 'Farm IMAGES' (Dogliotti *et al.*, 2005). Con este modelo se combinaron las actividades 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 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

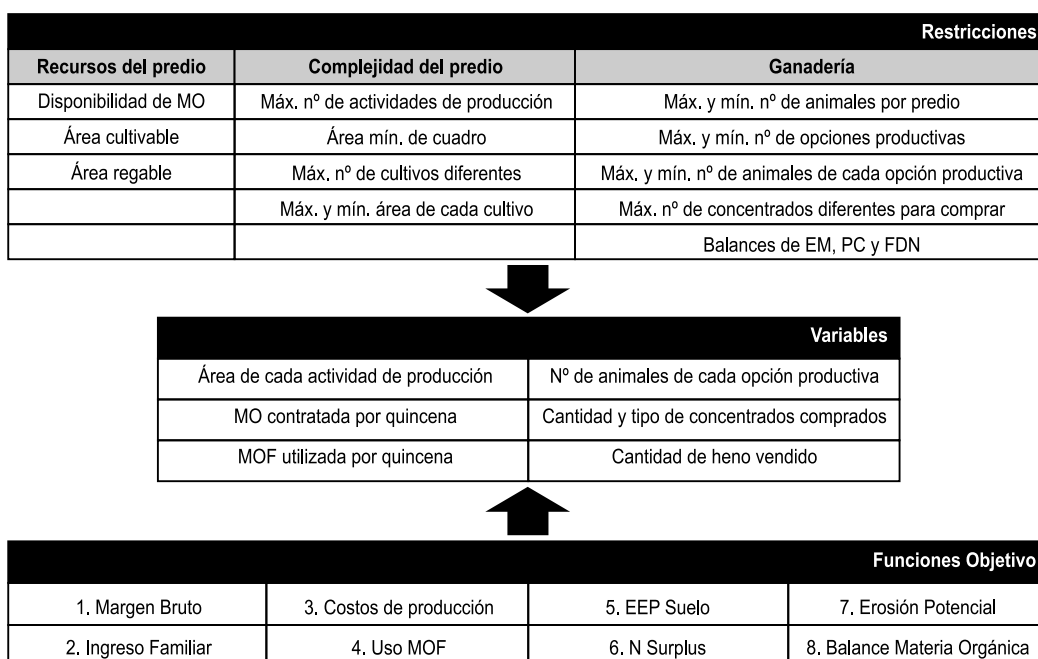


Figura 3. Modelo Farm IMAGES: variables, restricciones y funciones objetivo. EM: Energía metabolizable. PC: Proteína cruda. FDN: Fibra detergente neutro. MO: Mano de obra. MOF: Mano de obra familiar. EEP: Exposición ambiental a pesticidas. N: Nitrógeno.

El 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™).

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 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 sobre estimación 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 simulación 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 $\leq 5,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, 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.

3. RESULTADOS

3.1. 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 4). 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 Mg ha⁻¹ 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 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en ambos predios y un balance de materia orgánica de 273 y 93 kg ha⁻¹ 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 \$ ha⁻¹ año⁻¹ para los predios 1 y 2, respectivamente, mientras que con riego el mismo varió entre 24 y 247 mil \$ ha⁻¹ año⁻¹ para ambos predios.

3.2. 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 5). La categoría utilizada como reposición varía entre terneros, sobreaños, novillos formados, terneras y vacas de refugo. 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 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

Cuadro 4. 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 ⁻¹) | Costos Directos (\$ ha ⁻¹) | Mano Obra (horas ha ⁻¹) | Erosión (Mg ha ⁻¹) | MOS (kg ha ⁻¹) | N surplus (kg ha ⁻¹) | Prod. Forraje (kg MS ha ⁻¹) | Prod. Forraje (Mcal ha ⁻¹) | |
|---------------------|---------------------|---------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|--|---|
| 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 | 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 | No | 5280 | 18,2 | 2,8 | 93 | 0,7157 | 5186 | 12329 | |

de circulación de capital. Las actividades con ciclo de engorde largo usan más mano de obra que las de ciclo corto ya que los animales permanecen en el predio durante más tiempo e implican el manejo de dos lotes de animales en ciertas épocas del año (Cuadro 5).

3.3. Intercambio entre ingreso familiar y erosión del suelo

Cuando se maximizó el ingreso familiar (IF) sin restricciones en el nivel de erosión, el IF estimado fue 523 y 256 mil \$ año⁻¹ y la erosión estimada fue 10,0 y 8,9 Mg ha⁻¹ año⁻¹

Cuadro 5. Caracterización de las actividades 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. ¹ Puesto en el predio asumiendo flete de 200 km. ² Puesto en frigorífico asumiendo flete de 50 km. ³ Margen primario= Ingreso por venta - Costo reposición - Costo sanidad. ⁴ Productividad de la mano de obra (Asume lotes de 10 animales)= Margen primario*10 / Uso mano de obra. ⁵ Productividad de la energía metabolizable= Margen primario - Energía metabolizable requerida.

| | MCH CL 1 | MCH CL2 | 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 ⁻¹) | 0,676 | 0,676 | 0,857 | 0,636 | 0,720 | 0,850 |
| Producción de carne (kg cabeza ⁻¹) | 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 ⁻¹) | 28,12 | 26,20 | 24,58 | 23,46 | 20,31 | 20,22 |
| Precio venta (\$ kg ⁻¹) | 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 ⁻¹) ¹ | 4688 | 5157 | 8479 | 3685 | 6947 | 6917 |
| Venta (\$ cabeza ⁻¹) ² | 13598 | 14404 | 12213 | 10427 | 10963 | 10059 |
| Nº lotes (máximo) | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Uso mano de obra (h año ⁻¹) | 390 | 390 | 203 | 284 | 180 | 110 |
| Margen primario (\$ cabeza ⁻¹ año ⁻¹) ³ | 8780 | 9087 | 3634 | 6617 | 3941 | 3077 |
| Energía metabolizable requerida (Mcal cabeza ⁻¹ año ⁻¹) | 9243 | 9857 | 4613 | 6674 | 3136 | 2711 |
| Productividad de la mano de obra (\$ h ⁻¹) ⁴ | 225 | 233 | 179 | 233 | 219 | 280 |
| Productividad de la energía metabolizable (\$ Mcal ⁻¹) ⁵ | 0,95 | 0,92 | 0,79 | 0,99 | 1,26 | 1,14 |

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⁻¹ año⁻¹ (Puentes y Szogi, 1983), el IF descendió con mayor rapidez en el predio 2 (Figura 4). 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 ambos predios pudo superarse el IF mínimo establecido como objetivo (Cuadro 2).

En ambos predios, y a partir del nivel de erosión ≤7,5, el modelo (Fotos 5 y 6) incluyó a la ganadería en el sistema de producción (Cuadro 6). 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

producción (Cuadro 6). La producción de carne aumentó al bajar el nivel permitido de erosión hasta ≤6,5 y ≤7,5 en los predios 1 y 2, respectivamente (Figura 5). 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 7). 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⁻¹ ganadera promedio anual), con suplementación utilizando niveles importantes de concentrado (642 a 1345 kg ha⁻¹ año⁻¹) y con buenos resultados productivos (321 a 811 kg de PV ha⁻¹ año⁻¹). 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 8).

16

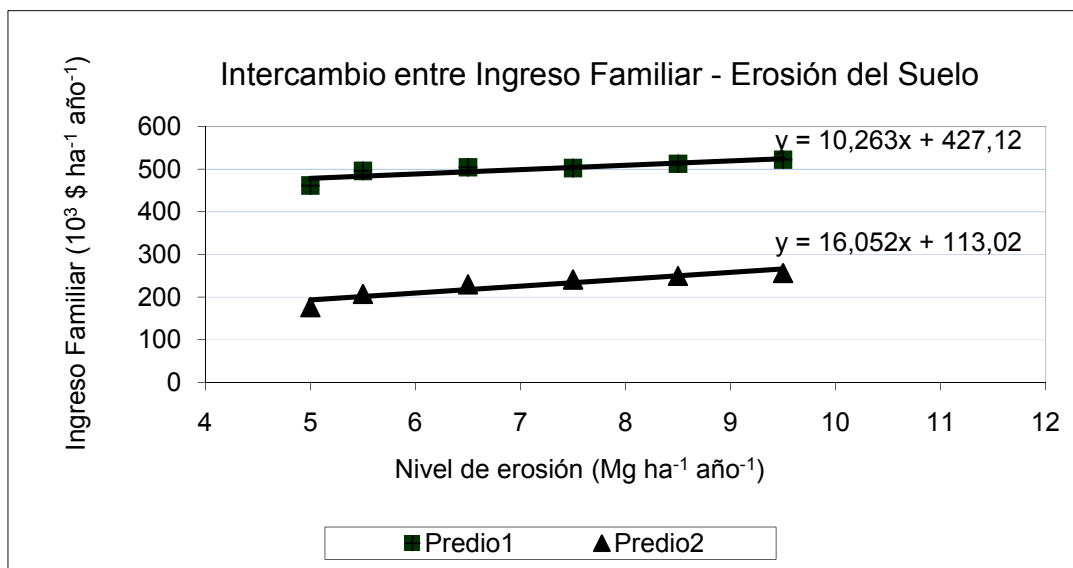


Figura 4. Intercambio entre ingreso familiar y erosión del suelo para los dos predios estudiados.

Cuadro 6. 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. % 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.

| Nivel de Erosión Tolerado | %IF Horti. | %IF Gan. | Uso MOF Total | Uso MOF Horti. | Uso MOF Gan. | Uso MOC (h año ⁻¹) | Capital requerido (\$ año ⁻¹) |
|---------------------------|------------|----------|---------------|----------------|--------------|--------------------------------|---|
| Predio1 | | | | | | | |
| ≤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 |
| Predio2 | | | | | | | |
| ≤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 |



Fotos 5 y 6. Sistemas hortícola-ganaderos, combinan actividades de producción vegetal y ganadera.

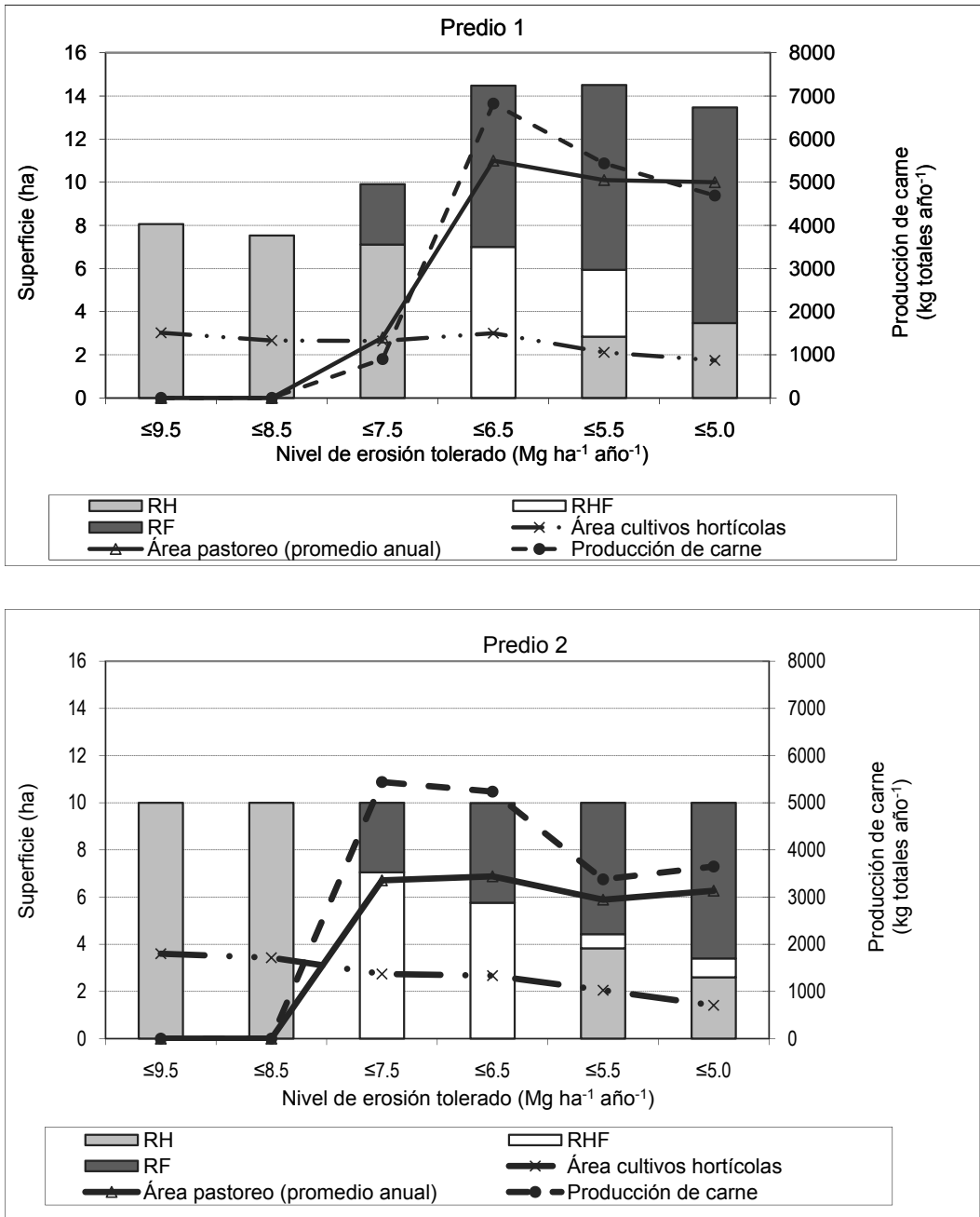


Figura 5. Uso del suelo y producción de carne en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES en cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos.

Cuadro 7. 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) | Boniato (ha) | Repollo (ha) | Trigo (ha) | Alfalfa (ha) | Moha (ha) | Avena & Raigrás (ha) | Pradera 4 años (ha) |
| ≤9,5 | 8,1 | 1,0 | 0,4 | - | 0,6 | 0,4 | 0,9 | 0,7 | - | 1,1 | 3,9 | - | - | - |
| ≤8,5 | 7,5 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | - | 0,4 | 0,7 | 0,7 | - | 1,5 | 3,4 | - | - | - |
| ≤7,5 | 9,9 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | - | 0,4 | 0,7 | 0,7 | - | 1,1 | 3,4 | 0,6 | 0,6 | 2,2 |
| ≤6,5 | 14,5 | 1,0 | - | - | 0,6 | 0,4 | 1,0 | 1,0 | - | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 6,0 |
| ≤5,5 | 14,5 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | - | 1,3 | 2,5 | 1,7 | 1,7 | 6,9 |
| ≤5,0 | 13,5 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | - | 0,4 | - | - | 0,2 | - | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 8,0 |

| Predio2 | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|------------------|---------------|--------------|----------------|--------------|--------------|------------|--------------|---------------------|-----------|----------------------|---------------------|
| Nivel de Erosión Tolerado | Área usada (ha) | Área regada (ha) | Ajo Temp (ha) | Cebolla (ha) | Calabacín (ha) | Boniato (ha) | Repollo (ha) | Trigo (ha) | Alfalfa (ha) | Pradera 3 años (ha) | Moha (ha) | Avena & Raigrás (ha) | Pradera 4 años (ha) |
| ≤9,5 | 10 | - | 0,3 | - | 1,7 | 1,4 | 0,3 | 1,7 | 5,0 | - | - | - | - |
| ≤8,5 | 10 | - | 0,3 | - | 1,6 | 1,6 | - | 1,7 | 4,4 | 0,5 | - | - | - |
| ≤7,5 | 10 | - | 0,6 | - | 1,1 | 1,1 | - | 1,1 | 3,3 | - | 0,6 | 0,6 | 2,4 |
| ≤6,5 | 10 | - | 0,6 | - | 1,3 | 0,8 | - | 1,3 | 2,3 | - | 0,9 | 0,9 | 3,4 |
| ≤5,5 | 10 | - | 0,7 | 0,1 | 0,7 | 0,7 | - | 0,7 | 1,9 | - | 1,1 | 1,1 | 5,5 |
| ≤5,0 | 10 | - | 0,5 | - | 0,5 | 0,5 | - | 0,6 | 1,4 | - | 1,3 | 1,3 | 5,3 |

Cuadro 8. 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 ⁻¹ año ⁻¹) | Producción de carne (kg ha ⁻¹) | Uso de concentrados (kg ha ⁻¹) |
|---------------------------|--------------------|--|--|--|
| Predio1 | | | | |
| ≤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 |
| Predio2 | | | | |
| ≤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 |

3.4. 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 6). 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 9). 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 9).

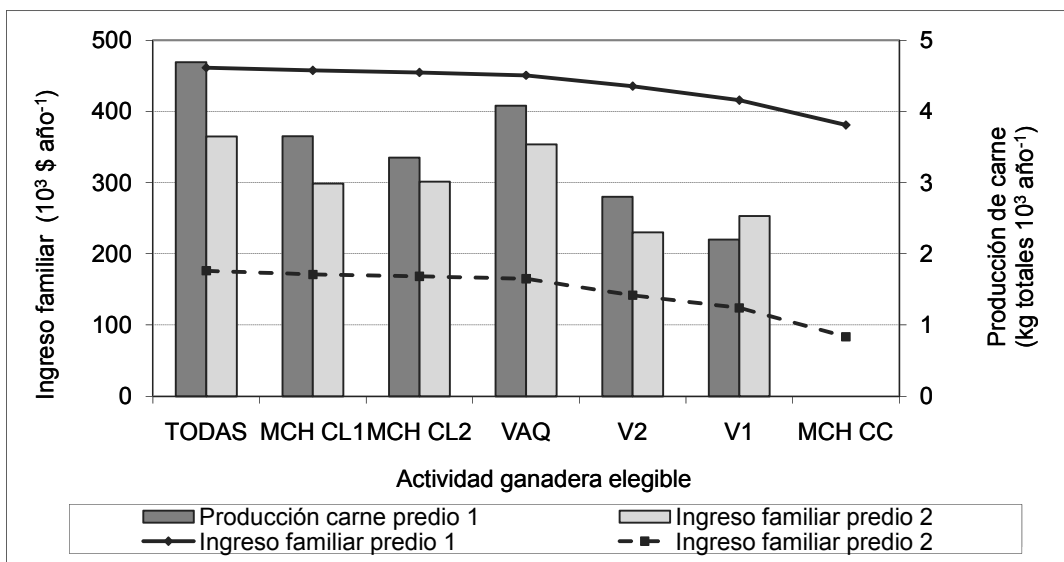


Figura 6. Efecto del tipo de ganadería en el ingreso familiar y la producción de carne en sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas, con un nivel máximo de erosión tolerado para el promedio del área cultivada de $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. 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 9. 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⁻¹ año⁻¹. 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.

| ACTIVIDADES GANADERAS ELEGIBLES | Actividad Ganadera | Area Gan. Promedio (ha año ⁻¹) | Capital requerido (\$ año ⁻¹) | %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) |
|---------------------------------|--------------------|--|---|------------|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Predio1 | | | | | | | | | |
| 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 |
| Predio2 | | | | | | | | | |
| 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 |

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 7). 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 7).

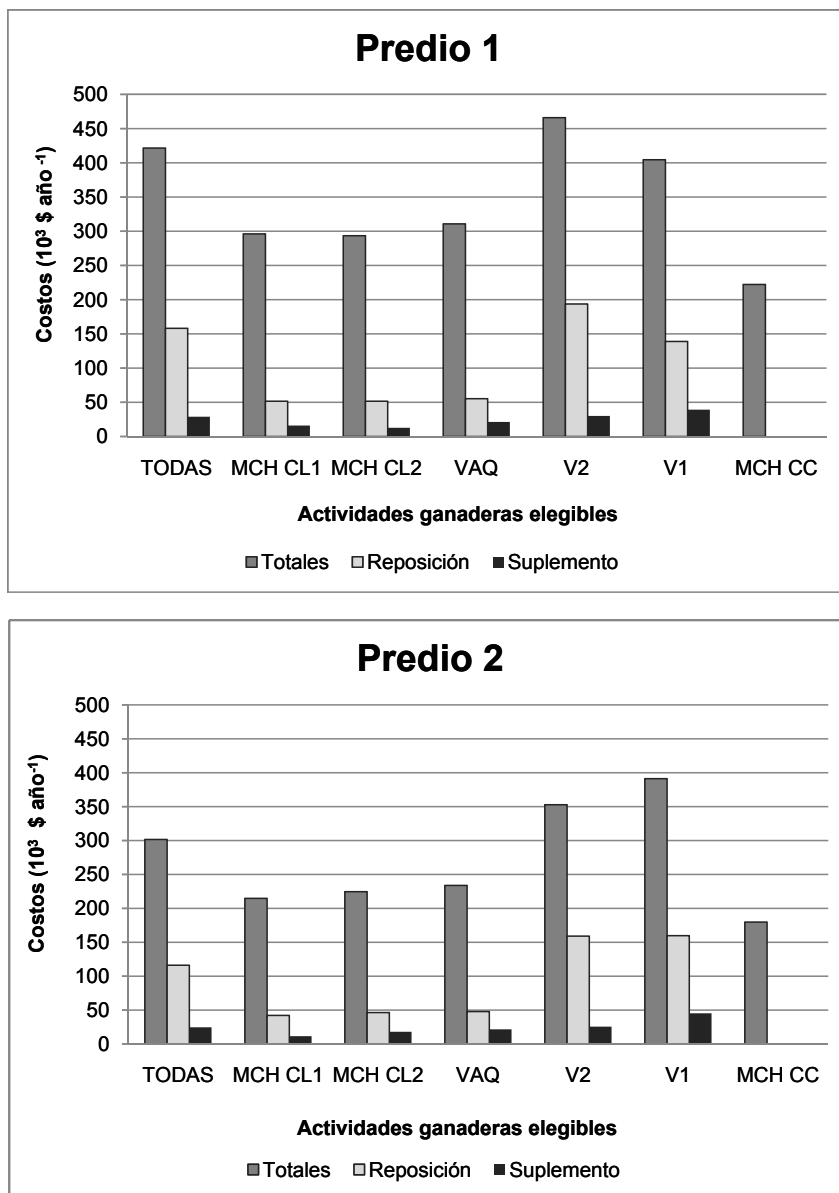


Figura 7. Efecto del tipo de actividad ganadera en los costos de producción de sistemas diseñados por el Farm IMAGES para cada predio estudiado cuando se maximiza el ingreso familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas, con un nivel máximo de erosión permitido para el promedio del área cultivada fue 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹. 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 10. 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⁻¹ año⁻¹ y se modifica el precio del ganado y de los granos. RF: Rotaición forrajera RH: 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

| | 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 | 3 V1 + 75 V2 + 12 VAQ |
| Producción de carne (kg) | 2856 | 3648 | 12194 |
| Uso de concentrados (kg) | 1633 | 5477 | 69766 |

3.5. 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 10). 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.

4. DISCUSIÓN

En los siguientes párrafos se discuten los principales aportes de la ganadería a la sostenibilidad de los sistemas hortícolas, las ventajas y desventajas de las alternativas de producción

animal analizadas y se proponen algunos elementos a tener en cuenta para promover el desarrollo de sistemas mixtos sostenibles en los predios familiares de Canelones.

4.1. 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⁻¹ en el predio 1 y 4,0 Mg ha⁻¹ 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⁻¹, 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⁻¹ (Figura 4).

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⁻¹ año⁻¹, 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, 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⁻¹ año⁻¹ en los predios 1 y 2, respectivamente, mientras que la rotación forrajera tuvo una erosión estimada de 2,8 Mg ha⁻¹ año⁻¹. 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 5). 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 rotaciones, 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).

4.2. 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.

4.3. Consideraciones para definir estrategias de desarrollo regional.

Los resultados obtenidos posicionan a la ganadería no solo como una opción para mejorar el IF en sistemas hortícolas sino como una de las bases importantes de su sostenibilidad, incluso en predios de pequeña escala (10 y 14,5 ha de superficie cultivable).

Al discutir opciones para el desarrollo sostenible de sistemas de producción debería considerarse el efecto agregado de un número grande de predios siguiendo la misma estrategia de desarrollo. En este sentido puede representar un problema el aumento excesivo de la producción de hortalizas en un mercado que crece en forma muy lenta. Los sistemas propuestos en general tienen una erosión menor a la tolerable, reducen el área de cultivos hortícolas e introducen la producción de forraje, trigo y carne, diversificando los sistemas del punto de vista de su inserción en cadenas productivas. Como desventaja, requieren un aumento significativo en el capital requerido para el funcionamiento del sistema, lo que se debe fundamentalmente a la inclusión de la ganadería y la importancia del capital requerido para la compra de animales, aspecto que deberá ser considerado para viabilizar la implementación de este tipo de estrategia. Además deberán considerarse estrategias de capacitación en aspectos centrales de la producción ganadera (Ej: alternativas productivas, instalación y manejo de pasturas, manejo del pastoreo y suplementación, sanidad animal) y aspectos organizativos

que permitan superar los problemas de la pequeña escala (Ej: compra-venta de animales, adquisición de insumos, acceso a maquinaria y a asesoramiento técnico).

5. 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.

6. AGRADECIMIENTOS

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

7. BIBLIOGRAFÍA

ADEKALU, K.O.; OLORUNFEMI, I.A.; OSUNBITAN, J.A. 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bio-resource 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.; BANCHERO, 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, J.I.; 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, J.A.; CAPRA, G. 2008. Producción intensiva de carne vacuna en predios de área reducida. Montevideo: INIA. 97p. (Serie Técnica; 175).

CAYSSIALS, R.; LIESEGAND, J.E. Y PIÑEYRÚA, J. 1978. Panorama de la erosión y conservación de suelos en el Uruguay. Boletín Técnico; (4) 27p.

DEAMBROSI, E.; MONTOSI, F.; SARAVIA, H.; BLANCO, P.; AYALA, W. 2009. 10 años de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería. Montevideo: INIA. 208p. (Serie Técnica; 180).

DE WIT, C.T.; VAN KEULEN, H.; SELIGMAN, N.G.; SPHARIM, I. 1988. Application of Interactive Multiple Goal Programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. Agricultural Systems 26, 211-230.

DÍAZ LAGO, J.E.; GARCÍA, J.A.; 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/hgxpp001.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.; GARCÍA, M.C.; PELUFFO, S.; DIESTE, J.P.; PEDEMONTE, A.J.; BACIGALUPE, G.F.; SCARLATO, M.; ALLIAUME, F.; ALVAREZ, J.; CHIAPPE, M.; ROSSING, W.A.H. 2014. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. Agricultural Systems, 126: 76-86

DOGLIOTTI, S.; ABEDALA, C.; AGUERRE, V.; ALBÍN, A.; ALLIAUME, F.; ALVAREZ, J.; BACIGALUPE, G.F.; BARRETO, M.; CHIAPPE, M.; CORRAL, J.; DIESTE, J.P.; GARCÍA DE SOUZA, M.C.; 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, M.K. 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, M.K. 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, M.K. 2003.** Rotat, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 19: 239 - 250.
- DORÈ, T.; MAKOWSKI, E.; MUNIER-JOLAIN, N.; TCHAMITCHIAN, M.; TITTONEL, P. 2011.** Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *Europ. J. Agronomy* 34 (2011) 192-210.
- 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, J.A. 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, M.K. 2002.** A goal oriented approach to identify and engineer land use systems. *Agricultural Systems*, 71: 231 - 247.
- HERRERO, M. Y THORNTON, P.K. 2011.** Production systems for the future: balancing trade-offs between food production, efficiency, livelihoods and the environment. In: 5th World Congress of conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, September 2011 Brisbane, Australia. www.wcca2011.org
- HERRERO, M.; THORNTON, P.K.; NOTENBAERT, A.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H.A.; 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.
- 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>.
- KIERS, E.T.; LEAKEY RRB, IZAC, A.M.; HEINEMANN, J.A.; ROSENTHAL, E.; NATHAN, D.; JIGGINS, J. 2008.** Agriculture at a Crossroads. *Science* 320, 320-321.
- KONING, N.B.J.; VAN ITTERSUM, M.K.; BECX, G.A.; VAN BOEKEL MAJS, BRANDBURG, W.A.; VAN DEN BROEK, J.A.; GOUDRIAAN, J.; VAN HOFWEGEN, G.; JONGENEEL, R.A.; SCHIERE, J.B.; SMIES, M. 2008.** Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity? *NJAS* 55-3, 229-292.
- LOBELL, D.B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C.B. 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).
- NONHEBEL, S.; KASTNER, T. 2011.** Changing demand for food, livestock feed and biofuels in the past and in the near future. *Livestock Science* 139(1-2): 3-10.
- 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, J.C.; GARCÍA, F.; ROVIRA, L.A. 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, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MC COOL, D.K.; YODER, D.C. 1997.** Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with de Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: United States Department of Agriculture. 385p. (Agriculture Handbook; 703).
- RIGHI, E.; DOGLIOTTI, S.; STEFANINI, F.M.; PACINI, G.C. 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, J.M.; VAN ITTERSUM, M.K. 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, J.B.; IBRAHIM, M.N.M.; 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, F.A.M.; 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, H.F.M; VAN ITTERSUM, M.K.; ROSSING WAH, VAN DE VEN, G.W.J.; SCHANS, J.; VAN DE SANDEN PACM. 2000.** Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy*, 13: 263 - 277.
- TOMMASINO, H.; BRUNO, Y. 2005.** Algunos elementos para la definición de productores familiares, medios y grandes. En: Anuario 2005, OPYPA – MGAP, Montevideo, Uruguay, p. 267-278.
- UNPP. 2008.** Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, <http://esa.un.org/unup>, January, 2012.

VAN DE VEN, G.W.J.; DE RIDDER, N.; VAN KEULEN, H.; VAN ITTERSUM, M.K. 2003. Concepts in production ecology for analysis and design of animal and plan-animal production systems. *Agricultural Systems* 76, 507-525.

VAN ITTERSUM, M.K. 2011. Future Harvest: the fine line between myopia and utopia. Inaugural lecture upon taking up the post of Personal Professor of Plant Production Systems at Wageningen University on 12 May 2011. Available on: <http://www.wacasa.wur.nl/content/future-harvest-fine-line-between-myopia-and-utopia-prof-dr-ir-mk-van-ittersum>

VAN ITTERSUM, M.K.; RABBINGE, R.; VAN LATESTIEN, H.C. 1998. Exploratory land use studies and their role in strategic policy making. *Agricultural Systems* 58, 309-330.

VAN ITTERSUM, M.K.; RABBINGE, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52: 197 - 208.

WISCHEIMER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. 1971. A soil erodability nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26: 189 – 193.

