

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE
DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA-GANADEROS EN PREDIOS
FAMILIARES DE CANELONES-URUGUAY**

por

María Verónica AGUERRE ANTÍA

**TESIS presentada como uno de los requisitos
para obtener el título de *Magister* en Ciencias
Agrarias opción Ciencias Animales**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
diciembre 2011**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por MSc Pablo Soca, PhD Hermes Morales, PhD Juan Manuel Soares de Lima el 20 de diciembre 2011. Autor: Ing. Agr. Verónica Aguerre. Director: PhD Santiago Dogliotti, Co-director: PhD Pablo Chilibroste.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a todos los que contribuyeron a mi trabajo de tesis merece una pausa en esta locura que es la culminación de la Maestría y es para mí un momento muy emotivo.

En primer lugar quisiera agradecer a Santiago y Pablo, mis tutores, ellos supieron ser muy buenos guías y motivadores para que yo llegara a buen fin con este trabajo. Admiro su visión, forma y capacidad de trabajo, son para mí un ejemplo a seguir. Santiago, cuando aparecieron los imprevistos y las cosas se complicaron dedicaste mucho tiempo a trabajar conmigo, sin ese apoyo fundamental esto no hubiera sido posible, MIL GRACIAS!

Agradezco al INIA por darme la posibilidad de seguir estudiando y lograr, en este proceso, un crecimiento personal y profesional que hoy valoro muchísimo.

Vaya también un agradecimiento a la ANII, por su apoyo con la Beca para Posgrados Nacionales.

Muchas personas enriquecieron este trabajo, quiero agradecer los aportes del tribunal evaluador en la defensa de la tesis y a Osvaldo Cardozo y Alfredo Albín que participaron de las instancias de evaluación previa y aportaron también su granito de arena.

Una mención muy especial merecen mis compañeros de trabajo y amigos Andrea Ruggia, Santiago Scarlato y Carolina Leoni, gracias por el aguante y por todos sus aportes. Es un placer trabajar con ustedes!

La barra del EULACIAS, proyecto en el cual estaba inmerso mi trabajo de tesis, amerita un agradecimiento particular, con ustedes aprendí lo que es el trabajo en equipo pero en serio y además lo pasamos genial.

El volver a la Facultad y al estudio me dio la oportunidad de conocer a varias personas con las que compartí muchas horas de trabajo y estudio que se hicieron muy amenas. Imposible nombrarlas a todas porque me olvidaría de alguna. Vaya si una mención especial a las "Chicas Modelo".

A mi familia, gracias por su apoyo y por estar siempre. Los quiero mucho!

A Vale y Gastón, "por ahora" Mamá va a dejar de estudiar y trabajar en la computadora y va a pasar mucho más tiempo jugando con ustedes. Son mi tesoro más preciado, los quiero hasta el Cielo!

A Pablo, gracias por tu paciencia, apoyo y por compartir la vida conmigo, en las buenas y en las malas.

A Mamá.... como me gustaría que estuvieras aquí! Te dedico este gran esfuerzo en forma muy especial.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 EL POTENCIAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN MIXTOS DE CONTRIBUIR AL CRECIMIENTO SOSTENIBLE DE LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS.....	5
1.2 SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA EN EL SUR DE URUGUAY.....	8
1.3 ESTUDIOS EXPLORATIVOS: UNA HERRAMIENTA CIENTÍFICA PARA CONTRIBUIR AL DISEÑO Y DISCUSIÓN DE ESTRATEGIAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	13
1.4 EL CONOCIMIENTO DISPONIBLE PARA INTENSIFICAR LA GANADERÍA EN PREDIOS DE ÁREA REDUCIDA.....	19
2 <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	23
2.2 ÁREA DE ESTUDIO.....	24
2.3 ESCENARIOS FUTUROS CONSIDERADOS.....	25
2.4 SELECCIÓN DE PREDIOS UTILIZADOS COMO ESTUDIO DE CASO.....	25
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS PREDIOS UTILIZADOS COMO ESTUDIO DE CASO.....	26
2.6 PRIMERA ETAPA: DISEÑO DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.....	27
2.6.1 <u>Diseño de actividades de producción vegetal</u>	27
2.6.2 <u>Diseño de actividades ganaderas</u>	29
2.7. SEGUNDA ETAPA: DISEÑO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.....	31
2.7.1 <u>Ejercicios de simulación realizados</u>	34

3 <u>RESULTADOS</u>	36
3.1 ACTIVIDADES DE PRODUCCIÓN VEGETAL.....	36
3.2 ACTIVIDADES GANADERAS.....	38
3.3 RESULTADOS CORRIDA 0.....	41
3.4 'TRADE OFF' ENTRE INGRESO FAMILIAR Y CONSERVACIÓN DE SUELO.....	41
3.5 EFECTO DEL TIPO DE GANADERÍA.....	52
3.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	57
4 <u>DISCUSIÓN</u>	61
4.1 OPORTUNIDADES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLES.....	61
4.2 EFECTO DEL TIPO DE GANADERÍA.....	64
4.3 ANALISIS DE SENSIBILIDAD.....	65
4.4 CONSIDERACIONES PARA DEFINIR ESTRATEGIAS DE DESARROLLO REGIONAL.....	65
4.5 CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	66
5 <u>CONCLUSIONES</u>	67
6 <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	68
7 <u>ANEXO</u>	74
7.1 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....	74
7.2 EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA-GANADEROS FAMILIARES EN EL SUR DE URUGUAY.....	76

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. Estudios previos proponen como estrategia de mejora una reducción del 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 fue implementado en predios piloto obteniendo impactos positivos en la sostenibilidad, aunque sin cambiar la producción animal existente en los predios. Para contribuir al diseño de sistemas de producción hortícola-ganaderos sostenibles aplicables a la producción familiar de Canelones-Uruguay, particularmente cuantificar el efecto potencial de la inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícola y del tipo de producción ganadera a incluir en la estructura y los resultados económico-productivos y ambientales del sistema, se realizó un estudio exploratorio a escala predial utilizando modelos de simulación en dos predios utilizados como estudio de caso y dos escenarios futuros. Los resultados sugieren que la inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícola, es el factor clave que permitiría reducir la erosión promedio del área cultivada. Al reducir el nivel de erosión admitido, el modelo diseñó sistemas con cada vez menor área de hortalizas, incluyendo una rotación exclusivamente forrajera en áreas cada vez mayores por debajo de $7,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Como consecuencia de esto, también se redujo el ingreso familiar (IF) entre 12% y 99% según el caso estudiado. Sin embargo, fue posible diseñar sistemas de producción 'óptimos', con erosión menor a la tolerable para el tipo de suelo, IF familiar mayor al objetivo y balance de materia orgánica positivo, en tres de las cuatro combinaciones de predio-escenario estudiadas. De las alternativas ganaderas evaluadas, las más apropiadas para incluir en los sistemas hortícolas son el engorde de novillos o vaquillonas en ciclos largos (14 a 18 meses), debido a que si bien no maximizan el IF, la reducción en el ingreso es mínima (< 3%) frente a la reducción en el costo de reposición de animales (59 a 69%) y al menor uso de concentrados (23 a 35%) lo que disminuye los costos de producción.

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

Exploring options for the sustainable development of mixed systems in family farms in Canelones-Uruguay

SUMMARY

Sustainability for most vegetable family farms in the South of Uruguay is under threat due to insufficient incomes and deterioration of the natural resources. Previous studies suggest, as a strategy to improve those restrictions, a reduction in the vegetable crop area, combining vegetable crops in rotations with green manures, forage crops and pastures, and also the introduction of cattle production in the systems. This strategy was tested in pilot farms obtaining positive impacts in their sustainability, but always without changing the existing animal production system. To contribute to the design of sustainable family farm systems in Canelones-Uruguay, in particular quantifying the potential effect of the inclusion of beef cattle in vegetable farms and the effect of the cattle production type in the structure and in the economic, productive and environmental results of the farm systems, an explorative study was conducted at a farm scale, using simulation models in two real farms that were used as case studies within two future scenarios. The results of this study suggested that the combination of beef cattle and vegetable production in this kind of farm systems is the key factor that contributes to reduce the average erosion in the cultivated area. The model reduced the area of vegetable crops when the maximum erosion level tolerated was reduced. Below 7,5 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ of targeted soil erosion, the model included an increasingly larger area of a forage rotation in the farm system. As a consequence, also the family income (FI) was reduced between 12% and 99% depending on the farm and scenario. However, we could design “optimum” production systems, with lower levels of erosion as the tolerable ones, FI higher than the objective and positive organic matter balance, in three of the four farm-scenario combinations evaluated. The most appropriate animal production activities from those evaluated in this study to be combined with vegetable production in family farm systems are the fattening of steers or heifers in long cycles (14 to 18 months). Even that those options did not maximize the FI, the reduction in the income was minimal (< 3%) compared to the reduction in the replacement cost of the animals (59 to 69%) and the lower use of concentrates (23% to 35%) which decreased the production costs.

Key words: simulation models, explorative studies, mixed systems, beef cattle, Uruguay.

1 INTRODUCCIÓN

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).

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 (Dorè *et al.*, 2011).

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

La sostenibilidad en el largo plazo de la mayoría de los predios hortícolas familiares en el Sur de Uruguay, está amenazada por ingresos insuficientes para cubrir el mantenimiento de la familia y de la infraestructura de producción, así como por el deterioro continuado de los recursos naturales. Enfrentados a una baja sostenida de los precios de las hortalizas y a un aumento de los costos de insumos y energía en valores constantes durante más de 20 años, los productores hortícolas de esta región adoptaron como estrategia predominante la intensificación y especialización de los sistemas de producción. Esta estrategia provocó un desequilibrio en la organización de los establecimientos hortícolas, causando un uso

ineficiente de los recursos productivos, mayor dependencia de insumos externos y mayor impacto sobre el ambiente (Dogliotti *et al.*, 2003). Esto último es particularmente grave en el Departamento de Canelones, que es la zona del país con mayor incidencia y severidad de erosión en los suelos (MGAP, 2004), y dónde se concentra la mayor cantidad de predios hortícolas familiares (DIEA, 2001).

Para explorar opciones de desarrollo sostenible de los sistemas de producción hortícolas familiares de esta zona del país, del año 2000 a 2003 se llevó adelante un estudio exploratorio basado en un modelo bio-económico (Farm IMAGES). Este estudio mostró que sería posible incrementar significativamente 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 (Dogliotti *et al.*, 2005). 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 (Dogliotti *et al.*, 2005).

La introducción de la producción animal, concretamente de la cría y engorde de vacunos, ha ido aumentando en los últimos años en Canelones, especialmente en predios de menos de 50 ha. Del año 2002 al 2010, el stock bovino 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 en más de 60% en este período (Grau *et al.*, 2011, no publicado, en base a información de DICOSE). Por lo tanto la ganadería representa una alternativa atractiva para pequeños productores, muchos de los cuales la combinan con horticultura. En el año 2000, en la zona Sur de Uruguay existían 2441 predios con horticultura como único rubro y 2329 predios que combinaban horticultura con otros rubros, de los cuales el 41% lo hacía con ganadería de carne, siendo éste el sistema combinado más importante (DIEA, 2001).

La ganadería tiene algunas características que la hacen muy adecuada como rubro complementario a incorporar en sistemas hortícolas familiares del sur del país. Es una actividad con bajo riesgo desde el punto de vista de la colocación del producto, tiene bajos requerimientos de mano de obra, y es capaz de generar una entrada de dinero importante con un peso muy fuerte en el flujo de caja. En los últimos años se han desarrollado

propuestas tecnológicas de engorde de vacunos, que han sido diseñadas específicamente para sistemas de producción que combinen horticultura con ganadería, y que han sido validadas a nivel de predio de productores (Cardozo *et al.*, 2008).

Durante el año 2003 y 2004 los resultados obtenidos por Dogliotti *et al.* (2005 y 2006) fueron presentados y discutidos con la principal gremial de productores familiares (Comisión Nacional de Fomento Rural - CNFR), con técnicos de la Dirección General de la Granja (DIGEGRA) e investigadores del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y Facultad de Agronomía. Como resultado de estas discusiones en 2005 se inició el proyecto FPTA 160 coordinado por CNFR y continuado en 2007 por los proyectos FPTA 209 y EULACIAS, dirigidos por Facultad de Agronomía. En estos proyectos se puso en práctica y evaluó la estrategia propuesta por el estudio exploratorio en predios piloto de productores familiares hortícolas y hortícola-ganaderos del Departamento de Canelones. Para esto se adaptó y aplicó una metodología de investigación participativa (co-innovación) para el desarrollo de sistemas de producción (Dogliotti *et al.*, 2012). En estos proyectos se obtuvieron impactos positivos en la sostenibilidad de la mayoría de los predios piloto reflejados en incrementos de casi 51% en el ingreso familiar por persona y 24% en la relación entre ingreso familiar e ingreso medio, 53% en el ingreso por hora de trabajo familiar y 39% en la relación entre rendimiento obtenido y alcanzable en los principales cultivos. También se observaron mejoras en la calidad del suelo reflejadas por el incremento de 23% en el indicador C orgánico actual/C orgánico mineralizable (Dogliotti *et al.*, 2012).

Dichos resultados se obtuvieron sin cambiar el sistema de producción animal existente en los predios piloto que hacían ganadería combinada con horticultura, excepto por la mejora en la producción de forraje como resultado de las rotaciones de cultivos hortícolas con pasturas y cultivos forrajeros. Para poder continuar mejorando la sostenibilidad de estos sistemas y sacar mejor provecho de las interacciones positivas entre la ganadería y la horticultura, sugeridas tanto por las prácticas actuales de los productores como por los resultados del estudio exploratorio, es necesario profundizar en la evaluación de alternativas de producción ganadera en combinación con horticultura y otros cultivos. Esta evaluación debe tener en cuenta los cambios ocurridos y esperados en el contexto socio-económico en que se encuentran los productores hortícola-ganaderos y los avances en el conocimiento y tecnología disponible para predios de área reducida.

Los modelos de simulación a nivel de unidades de producción, son una herramienta muy útil para apoyar el proceso de re-diseño de sistemas, porque permiten combinar información detallada sobre los componentes de los mismos y crear alternativas que tengan en cuenta las limitaciones de recursos productivos de cada predio y los objetivos de los actores involucrados. Su uso permite evaluar una gran cantidad de opciones, ayudando a comprender el funcionamiento de todo el sistema predial. Los modelos usados en forma explorativa muestran opciones técnicamente viables para que distintos tipo 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).

El objetivo general de este estudio fue contribuir al diseño de sistemas de producción hortícola-ganaderos sostenibles aplicables a la producción familiar predominante en Canelones-Uruguay. En particular se propuso cuantificar el efecto potencial de la inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícola y el tipo de producción ganadera a incluir en la estructura y los resultados económico-productivos y ambientales del sistema.

Se partió de dos hipótesis de trabajo: (i) la inclusión o jerarquización de la ganadería es una estrategia viable para mejorar la sostenibilidad de muchos sistemas de producción hortícolas en Canelones. (ii) las opciones tecnológicas de integración hortícola-ganadera son distintas para diferentes tipos de predios clasificados de acuerdo a la disponibilidad de recursos productivos, fundamentalmente tierra, agua para riego y mano de obra.

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 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, por lo general ha sido acompañado por costos como la eutrofización por lavado de fertilizantes,

contaminación por pesticidas y pérdida de variedades locales. Dicha evaluación encontró que cambios estructurales en 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 estiércol, leche, carne, fibras y cuero. 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, fijan nitrógeno atmosférico, liberan fósforo

inmovilizado, mantienen el suelo cubierto y reducen la erosión, o aumentan 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 genera las siguientes ventajas:

- A nivel de suelo mantienen o mejoran los niveles de C orgánico y N total, aumentan el contenido de 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.
- Permiten un adecuado 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 tanto 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 h/ha. 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 (Puentes y Szogi, 1983).

La sostenibilidad en el largo plazo de la mayoría de los predios hortícolas familiares en el Sur de Uruguay, está amenazada por ingresos insuficientes para poder cubrir el mantenimiento de la familia y de la infraestructura de producción, así como por el deterioro continuado de los recursos naturales. Enfrentados a una baja sostenida de los precios de las hortalizas y a un aumento de los costos de insumos y energía en valores constantes durante más de 20 años, los productores hortícolas de esta región adoptaron como estrategia predominante la intensificación y especialización de los sistemas de producción. Esta estrategia provocó un desequilibrio en la organización de los establecimientos hortícolas, causando un uso ineficiente de los recursos productivos, mayor dependencia de insumos externos y mayor impacto sobre el ambiente (Dogliotti, 2003). Este problema es particularmente grave en el Departamento de Canelones, ya que es donde se concentra la mayor parte de predios hortícola familiares del país y la calidad de suelos se encuentra muy deteriorada.

Paralelamente al problema planteado anteriormente, la introducción de la producción animal, concretamente de la cría y engorde de vacunos, ha ido aumentando en los últimos años en Canelones. En el año 2000 existían en el departamento 2971 predios que tenían a la ganadería de carne como fuente de ingreso principal y 1072 que la tenían como fuente de ingreso secundaria o terciaria (DIEA, 2001). Del año 2002 al 2010, el stock bovino 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 en más de 60% en este período (Grau *et al.*, 2011, no publicado, en base a información de DICOSE). Por lo tanto la ganadería representa una alternativa atractiva para pequeños productores, muchos de los cuales la combinan con horticultura. En el año 2000, en la zona Sur de Uruguay existían 2441 predios con horticultura como único rubro y 2329 predios que combinaban horticultura con otros rubros, de los cuales el 41% lo hacía con ganadería de carne, siendo este el sistema combinado más importante (DIEA, 2001).

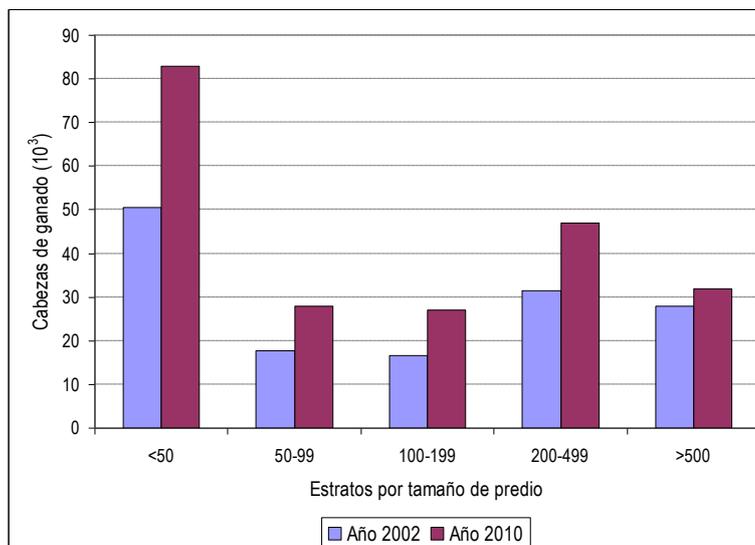


Figura 1: Evolución del número de cabezas de ganado en función del tamaño de predio en el departamento de Canelones, para el período 2002 - 2010 (Grau *et al.*, 2011, no publicado, en base a información de DICOSE).

Para explorar opciones de desarrollo sostenible de los sistemas de producción hortícolas familiares de esta zona del país, del año 2000 a 2003 se llevó adelante un estudio exploratorio basado en un modelo bio-económico (Farm IMAGES). Este estudio mostró que sería posible incrementar significativamente 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 (Dogliotti *et al.*, 2005). 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 (Dogliotti *et al.*, 2005).

Durante el año 2003 y 2004 los resultados obtenidos por Dogliotti *et al.* (2005 y 2006) fueron presentados y discutidos con la principal gremial de productores familiares (Comisión Nacional de Fomento Rural - CNFR), con técnicos de la Dirección General de la Granja (DIGEGRA) e investigadores del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y Facultad de Agronomía. Como resultado de estas discusiones en 2005 se inició el proyecto FPTA 160 coordinado por CNFR, y continuado en 2007 por los proyectos FPTA 209 y

EULACIAS, dirigidos por Facultad de Agronomía. En estos proyectos se puso en práctica y evaluó la estrategia propuesta por el estudio exploratorio en predios piloto de productores familiares hortícolas y hortícola-ganaderos del Departamento de Canelones. Para esto se adaptó y aplicó una metodología de investigación participativa (co-innovación) para el desarrollo de sistemas de producción (Dogliotti *et al.*, 2012). En estos proyectos se obtuvieron impactos positivos en la sostenibilidad de la mayoría de los predios piloto reflejados en incrementos de casi 51% en el ingreso familiar por persona y 24% en la relación entre ingreso familiar e ingreso medio, 53% en el ingreso por hora de trabajo familiar, y 39% en la relación entre rendimiento obtenido y alcanzable en los principales cultivos. También se observaron mejoras en la calidad del suelo reflejadas por el incremento de 23% en el indicador C org. actual/C org. mineralizable (Dogliotti *et al.*, 2012).

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 similitud; 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).

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 zafra contratado (n° de jornales)	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 tractor, pulverizadora y demás.

Albín *et al.* (2009) construyeron escenarios futuros posibles para el sector hortícola de la región sur de Uruguay, comenzando con el análisis del contexto actual, identificando factores conductores y explorando las consecuencias en la condiciones de sustentabilidad. Los escenarios fueron identificados utilizando la metodología Delphi. El análisis muestra tendencias comunes a todos los escenarios, en la que los expertos involucrados coinciden:

- a nivel global el aumento en los costos de la energía y del petróleo, lo que se traduce en un aumento del costo de los agroquímicos;
- a nivel del país un aumento del poder adquisitivo lo que se traduce en un aumento de la demanda de productos de calidad, y
- a nivel regional la migración de gente del campo hacia las ciudades lo que se traduce en el envejecimiento de la población rural, una disminución en la oferta de mano de obra especialmente mano de obra calificada y un aumento en el costo de la mano de obra.

Por otro lado los expertos tienen perspectivas diferentes con respecto al tipo de innovación relacionada a procesos productivos y productos, organización de mercado y riesgos y oportunidades vinculadas a la apertura de mercados a nivel global. Estas diferencias se traducen en tres escenarios futuros diferentes: (i). El “Verde”, donde los productores deberán usar nuevos procesos productivos que disminuyan o eliminen el uso de agroquímicos; (ii) El “Cadena Integrada” que implica el desarrollo y modernización del sector agro industrial y la integración horizontal y vertical de la cadena hortícola; y (iii) El “Agricultura Marginal” que implica la continuación del contexto actual del sector hortícola.

1.3 ESTUDIOS EXPLORATIVOS: UNA HERRAMIENTA CIENTÍFICA PARA CONTRIBUIR AL DISEÑO Y DISCUSIÓN DE ESTRATEGIAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

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 agroeconómico (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; a consecuencia, los resultados se presentan como opciones en lugar de recomendaciones (Rossing *et al.*, 1997).

Sterk *et al.* (2011) plantean tres grande áreas en la que esta herramienta ha sido utilizada: (i) modelos de uso de suelo orientados por metas, como herramienta para explorar objetivos estratégicos de los productores y asociar sistemas de uso de suelo promisorios, apuntando al re-diseño de sistemas de producción. (ii) modelización de uso de suelo en un contexto de múltiples actores donde se focaliza en el estudio de la interacción entre componentes, se utilizan los resultados para crear discusión sobre determinados aspectos y

se genera interacción y redes entre los actores involucrados. (iii) modelación orientada a políticos, donde se enfocan temas de desarrollo rural con énfasis en el uso de suelo para la producción agropecuaria y otros servicios ambientales. Desde este punto de vista, los estudios exploratorios no se limitan a aprender sobre los sistemas de producción, sino que amplían el conocimiento sobre visiones, normas y valores de otros actores, además de que pueden ser utilizados como mediación de conflictos entre distintos actores y contribuir a la construcción de la comunidad.

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 tipo 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, i.e. un cultivo o rotación de cultivos en un ambiente físico particular, completamente especificado por sus inputs y outputs. 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 es, asumiendo en cada caso el principio de ‘best technical means’ i.e. en relación al nivel de conocimiento y técnicas disponibles actual. Otro concepto importante en la definición de los inputs y outputs 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 contrastantes) de manera que a priori ninguna opción es excluida y la ventana de oportunidades permanece abierta y transparente. Actividades innovativas deben ser definidas e incluidas si realmente queremos mirar hacia adelante, esto quiere decir que deberemos definir nuevas formas de manejos de cultivos o de producción animal en relación a las actuales. (Ten Berge *et al.*, 2000).

Para la definición del nivel de producción o rendimiento objetivo y la cuantificación de inputs y outputs 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) definitorios del crecimiento i.e. el potencial de producción, determinado por la concentración de CO₂, la temperatura, la radiación y las características genéticas de los cultivos, (ii) limitantes del crecimiento, determinados por la disponibilidad de agua y nutrientes y (iii) reductores del crecimiento determinados por el nivel 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 diseñan y evalúan 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).

El estudio se enfocó en el manejo estratégico del predio i.e. re-diseño de los sistemas de producción más que en cambios en las técnicas particulares de producción y en, el efecto a largo plazo de las actividades de uso de suelo en la erosión y fertilidad y el efecto a corto plazo en el ingreso familiar. Los objetivos que orientaron el proceso de diseño fueron reducir la erosión, mejorar la fertilidad de los suelos (física y biológica) y aumentar el ingreso familiar de los predios. Las medidas utilizadas para superar los problemas de sustentabilidad de los sistemas fueron:

- Rotación de cultivos para aumentar los rendimientos de los cultivos, reducir la erosión y los insumos requeridos, y para mejorar el uso de los recursos y el ingreso predial.
- Actividades entre cultivos para reducir la erosión y aumentar la materia orgánica del suelo.
- Sistemas de producción combinados (horticultura y producción animal) para aumentar la eficiencia de uso de los recursos y hacer a la inclusión de pasturas en la rotación más atractiva. Las pasturas van a reducir la erosión y los requerimientos de nitrógeno y aumentarán la materia orgánica del suelo.
- Asignación óptima de los recursos del predio para aumentar el ingreso predial y la eficiencia de uso de los recursos.

En dichos trabajos las actividades de uso de suelo a escala de cuadro o actividades productivas eran el resultado de la combinación de diferentes cultivos y actividades entre cultivos en una rotación, en conjunto con las técnicas de producción utilizadas para producir dichos cultivos y el ambiente físico dado por el tipo de suelo.

Para el diseño de actividades productivas se seleccionaron cultivos hortícolas aptos para ser cultivados en Canelones, considerando los tipos de suelo predominante y los cultivos tradicionales de la región. Se incluyeron cultivos de invierno y verano, asegurando diversidad en grupos de cultivos relacionados genética y fitopatológicamente y variabilidad en requerimiento de mano de obra, mecanización e insumos externos. Seguidamente se combinaron esos cultivos en rotaciones de cultivos, utilizando el modelo ROTAT (Dogliotti *et al.*, 2003) que genera todas las combinaciones posibles limitadas por reglas que eliminan las sucesiones que no son posibles desde un punto de vista agronómico. Cada rotación de cultivos podía ser cultivada con diferentes tipos de actividades entre cultivos: barbecho, barbecho mas abono de origen animal, abonos verdes y pasturas. A su vez cada cultivo podía ser manejado con diferentes técnicas de producción que se vinculaban con niveles de riego, niveles de mecanización y al uso de pesticidas para la protección de cultivos (Dogliotti *et al.*, 2004).

Para cada actividad productiva Dogliotti *et al.* (2004) cuantifican inputs y outputs, determinando coeficientes relacionados a su performance económica (margen bruto), recursos requeridos (mano de obra, insumos externos, riego) e impacto sobre el ambiente (erosión del suelo, tasa de cambio de la materia orgánica, excesos de nitrógeno (N) e impacto ambiental de pesticidas), basándose en el conocimiento existente y en la experiencia propia. El punto de partida para el proceso de cuantificación es la estimación del rendimiento de los cultivos. Una parte importante de los inputs y outputs depende del rendimiento de cada uno de los cultivos vía la cantidad de trabajo requerido para operaciones de cosecha y post-cosecha, la cantidad de forraje producido como input para la producción animal, el margen bruto, etc. Una vez que los rendimientos han sido estimados el resto de los inputs y outputs fueron calculados siguiendo el abordaje de "orientación por objetivos" (van Ittersum y Rabbinge, 1997).

El rendimiento potencial de los cultivos que se obtiene cuando se cubren las necesidades de agua y nutrientes y está libre de pestes, enfermedades y malezas fue definido por Dogliotti *et al.* (2004) como el mejor rendimiento obtenido en estaciones experimentales de la región. Dicho rendimiento fue reducido en un 15% debido a las pérdidas inevitables debidas al manejo de cultivos a escala comercial, definiendo así el rendimiento

máximo. Este rendimiento es muy superior al rendimiento promedio obtenido por productores de la región. Paralelamente se consideran factores que reducen el rendimiento máximo de cada cultivo: la fertilidad física del suelo y la disponibilidad de agua (factores limitantes del crecimiento) y la incidencia de enfermedades de suelo y el nivel de protección del cultivo (factores reductores del crecimiento), los que se relacionan con las medidas de manejo propuestas para levantar los problemas de sustentabilidad (Dogliotti *et al.*, 2004). El rendimiento alcanzable de cada cultivo (rendimiento objetivo) fue entonces calculado como resultado del rendimiento máximo y los cuatro factores de reducción mencionados:

Rendimiento objetivo= rendimiento máximo * (factor de reducción por fertilidad física del suelo)* (factor de reducción por déficit hídrico)* (factor de reducción por efecto de la frecuencia de cultivo en la incidencia de enfermedades de suelo)* (factor de reducción por el nivel de protección del cultivo)

En relación a las actividades de producción animal se diseñó solo una actividad productiva, el engorde de novillos Hereford de 120 a 420 Kg de peso vivo, que se alimentan únicamente del el forraje producido en el predio y se evalúa en un período anual.

Para el diseño de sistemas de producción prediales (segunda etapa) a través de la asignación óptima de actividades productivas a los diferentes cuadros del predio en función de la disponibilidad de recursos y de las prioridades dadas a diferentes objetivos, Dogliotti *et al.* (2005) construyeron un modelo de programación lineal multi-objetivo llamado Farm Images. El mismo tiene siete funciones objetivo alternativas: margen bruto predial, ingreso familiar, requerimiento de capital, erosión del suelo, tasa de cambio de la materia orgánica del suelo, exceso de N y exposición ambiental a pesticidas. También tiene restricciones que describen la disponibilidad de recursos del predio: área de cada tipo de suelo, mano de obra disponible y área regada máxima; y restricciones que describen el nivel de complejidad del sistema deseado y las preferencias de los productores: número de actividades productivas por unidad de tierra, número máximo de cultivos a nivel del predio, área mínima de parcela (unidad en la que se divide el área del predio para implementar una rotación) y área mínima y máxima para cada cultivo.

1.4 EL CONOCIMIENTO DISPONIBLE PARA INTENSIFICAR LA GANADERÍA EN PREDIOS DE ÁREA REDUCIDA

Si consideramos a la ganadería como rubro complementario a incorporar en sistemas hortícolas familiares del sur del país, la misma tiene algunas características que la hacen muy adecuada. Es una actividad con bajo riesgo desde el punto de vista de la colocación del producto, tiene bajos requerimientos de mano de obra, es capaz de generar una entrada de dinero importante con alto impacto en el flujo de caja y la mayoría de los productores están familiarizados con el rubro.

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:

- 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 claves de su propuesta dichos 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).

Si consideramos una ganadería enfocada al engorde de animales, con base pastoril y suplementación estratégica, de manera de capitalizar todas las ventajas de los sistemas mixtos existen dos grandes aspectos tecnológicos claves que se deben considerar, el primero en relación a la respuesta animal a diferentes ofertas y calidad de forraje y el segundo en relación a la respuesta animal a la suplementación.

Baldi (2008, sin publicar) realizó una recopilación de la investigación llevada a cabo a nivel nacional en los últimos años en torno a la invernada intensiva. En dicho trabajo plantea que el cuantificar las relaciones entre oferta de forraje, evaluada por medio de la asignación de forraje o por la presión de pastoreo, y la respuesta animal, es fundamental a la hora de realizar predicciones del desempeño animal y también evaluar el éxito de la aplicación de otras medidas de manejo (ej.: respuesta a la suplementación). En términos generales para el período otoño-invernal y sobre verdeos de invierno o praderas permanentes (mezcla de gramíneas con leguminosos), asignaciones del 5 % del peso vivo son las que obtienen mayor ganancia animal variando mayoritariamente entre el rango de 0,5 -1,3 kg/día, dependiendo del año. En la primavera existe respuesta al aumento de la asignación a niveles de entre 6-8% obteniendo ganancias entorno al rango de 0,8 – 1, 2 kg/día. En el verano se ha medido respuesta significativa al aumento de la asignación hacia el 9% del peso vivo, pero se recomienda una asignación de forraje del 6% con encierres coyunturales de acceso a sombra

y agua durante las horas del día de máximas temperaturas, lo que permitiría ganancias del entorno a 0,75 kg/día.

En relación a la respuesta a la suplementación, Baldi (2008, sin publicar) concluye que la información generada en el país demuestra que en condiciones de pastura de buena calidad una respuesta adecuada a la suplementación sólo se da si existe una condición de limitación en la cantidad de forraje. En este sentido, los resultados experimentales han mostrado que la suplementación con concentrados energéticos (maíz, sorgo, cebada, avena, etc) en el rango de 0,5 - 1% del PV durante el período otoño-invernal, ha sido efectiva en asegurar tasas de ganancia entre 0,9 – 1,2 kg/día, manejando a los animales con cierto nivel de restricción en el entorno de 2,5% de asignación de forraje, sobre pasturas de buena calidad.

En lo que refiere a la producción de las pasturas mejoradas, GIPROCAR II (2009, no publicado) generaron en base a una recopilación de información nacional un caracterización de la producción de materia seca de las pasturas mejoradas utilizadas tradicionalmente en el país, definiendo un factor de ajuste en la producción determinado por el tipo de suelo y definiendo una utilización de las mismas en cada estación del año (Cuadro 2).

Con respecto al potencial de producción de carne en este tipo de sistemas Cardozo et al. (2008) presentan los resultados obtenidos en el módulo de INIA Las Brujas, que cuenta con 51 ha de las cuales el 86% se encuentra mejorado con verdeos anuales, praderas mezcla y alfalfa, en el cual se obtuvo en promedio para los ejercicios 2002/2003 y 2003/2004, una producción de carne de 590 kg/ha, con una dotación promedio de 1,49 UG/ha, un peso promedio de entrada de animales de 145 kg, un peso promedio de salida de animales de 295 kg y con niveles de suplementación con fardos de 450 kg/ha y con grano de 140 kg/ha, en base al engorde de terneras bolita y novillitos y vaquillonas precoces. No se encontraron publicados resultados productivos a escala predial y anual para sistemas combinados hortícola-ganaderos de pequeña escala, sin embargo Cardozo et al. (2008) presentan resultados de validaciones realizadas a nivel predial en este tipo de sistemas, donde en un predio de 13 ha, donde el rubro principal es la horticultura, que cuenta con un área ganadera de 11,5 ha con un 88% del área mejorada, se engordaron entre agosto de 2003 y febrero de

2004, 20 terneras y 21 vaquillonas, obteniendo una producción de carne de 500 kg/ha, con un nivel de suplementación con grano de 70 kg/ha y sin suplementación con fardos.

Cuadro 2: Producción de forraje de las pasturas mejoradas utilizadas tradicionalmente en el país (GIPROCAR II 2009, no publicado).

Opción forrajera	Suelo	Producción de materia seca					Factor ajuste por suelos				Utilización de la materia seca			
		año tt	oto %	inv %	pri %	ver %	AA	AB	BF	CM	oto %	inv %	pri %	ver %
ALFALFA														
alfalfa 1er.año	AA	5,5	0	0	55	45	100	85	xx	xx	xx	xx	60	70
alfalfa 2	AA	12,0	25	10	35	30	100	85	xx	xx	70	70	60	70
alfalfa 3	AA	8,0	20	10	40	30	100	80	xx	xx	70	70	60	70
alfalfa 4	AA	7,0	10	5	50	35	100	75	xx	xx	70	70	60	70
PRADERA LARGA														
pp1 (fe+tb+lo)	AA	4,5	0	10	70	20	100	85		70	xx	xx	60	60
pp2 (fe+tb+lo)	AA	10,0	25	15	40	20	100	85		70	70	70	60	60
pp3 (fe+tb+lo)	AA	7,0	20	16	50	14	100	80		65	70	70	60	60
pp4 (fe+tb+lo)	AA	5,0	14	13	60	13	100	75		60	70	70	60	60
PRADERA CORTA														
t.rojo+cebad.	AA	8,0	0	25	55	20	100	85	xx	70	70	70	60	60
t.rojo 2do.año	AA	10,0	28	20	42	10	100	85	xx	70	70	70	60	60
VERDEO VERANO														
moha	AA	5,0				100	100	90		80				65
VERDEO INVIERNO														
avena pastoreo	AA	6,5	25	50	25	0	100	90		70	70	70	60	xx
raigrás past.	AA	9,0	10	40	50	0	100	90		70	70	70	60	xx

AA: Suelos agrícolas, sin limitaciones o pequeñas limitaciones

AB: Suelos agrícolas, con alguna limitación.

BF: Bajos de fertilidad media a alta y profundos a medianamente profundos, no agrícolas por problemas de anegamiento.

CP: Suelos de cristalino profundo.

CM: Suelos de cristalino medio.

CS: Cristalino superficial.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ASPECTOS GENERALES

Se realizó un estudio exploratorio de uso del suelo a escala predial, siguiendo la metodología generada por Dogliotti *et al.* (2005) (Figura 2), que constó de dos etapas principales.

En la primera etapa se diseñaron actividades de producción vegetal para uso de suelo (rotaciones) y de producción animal y se describieron en forma cuantitativa sus requerimientos de recursos (mano de obra, insumos, agua, maquinaria), sus resultados económicos y su impacto ambiental (erosión estimada y balance de materia orgánica). Las actividades productivas que se diseñaron en esta etapa, son posibles para la región bajo estudio desde un punto de vista biofísico y son realizables desde un punto de vista técnico. Se incluyó una variedad contrastante de opciones que permitiera alcanzar objetivos diferentes (y a veces contrapuestos) de manera que a priori ninguna opción fue excluida. La cuantificación de requerimiento de recursos e impactos ambientales se realizó fijando rendimientos objetivo para cada sistema de manejo (target-oriented) de acuerdo al método explicado por van Ittersum y Rabbinge (1997). Esto implicó la definición de una combinación óptima de insumos y manejo para obtener el rendimiento objetivo, asumiendo en cada caso el principio de 'best technical means' (Hengsdijk y van Ittersum, 2002). Esta combinación de rendimiento objetivo, insumos y técnicas fue específica del ambiente físico del Departamento de Canelones, caracterizado en este estudio por el clima y los tipos de suelo de la región. La reducción de la erosión y la mejora en la fertilidad del suelo y en los resultados económicos de los predios fueron las líneas directrices del proceso de diseño en este trabajo.

En la segunda etapa, mediante un modelo de programación lineal (PL) multi-criterio fueron combinadas distintas actividades de producción de cultivos y animales 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 limitantes los recursos productivos de que dispone el predio y valores críticos pre-definidos de impacto del sistema sobre la calidad del suelo (erosión y balance de materia orgánica).

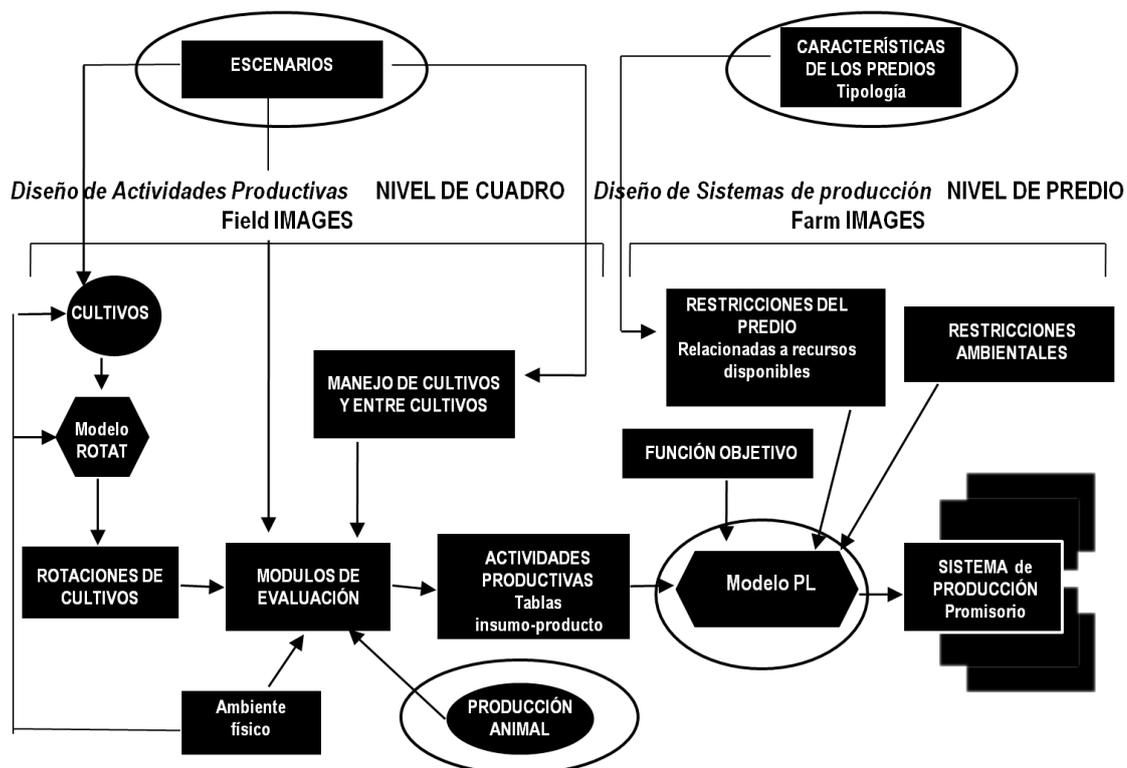


Figura 2. Esquema general de la metodología del estudio exploratorio y su relación con los modelos utilizados. Con círculos se señalan los aspectos novedosos de este trabajo.

2.2 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se focalizó en Canelones, Uruguay (Latitud: 34 ° 40 ´ S, Longitud: 56 ° 20 ´ W, Altitud: 32 m.s.n.m). Esta zona tiene una alta concentración de productores hortícolas y presenta los mayores índices de erosión del país. Los principales problemas estructurales de los predios hortícolas en esta área son: (i) la calidad de suelo está muy deteriorada, (ii) el tamaño promedio de los predios y el capital disponible es muy reducido para permitir sistemas especializados en ganadería; (iii) el agua para riego es insuficiente para permitir sistemas especializados en horticultura; y (iv) la disponibilidad de mano de obra para contratar se está convirtiendo en un problema de esta región y los expertos predicen que la misma será cada vez más escasa y cara (Albín *et al.*, 2009), lo cual también limita las posibilidades de crecimiento en horticultura.

2.3 ESCENARIOS FUTUROS CONSIDERADOS

En este estudio fueron considerados dos escenarios futuros para el sector hortícola de la región Sur de Uruguay, construidos por Albin *et al.* (2009) utilizando la metodología Delphi. Un escenario denominado “Convencional” que implica la continuación del contexto actual del sector dónde la producción de hortalizas se destina al mercado en fresco y se comercializa en el Mercado Modelo vía comisionistas y un escenario denominado “Integrado” que implica el desarrollo de un sector agroindustrial que dinamiza y modifica el contexto actual del sector hortícola agregando nuevas oportunidades comerciales a las ya existentes y un nivel de organización colectiva de los productores cualitativamente diferente al actual. Dicho trabajo marca una tendencia común para los escenarios, en la que los expertos involucrados coinciden, en Canelones continuará la migración de gente del campo hacia las ciudades y por lo tanto disminuirá la oferta de mano de obra, especialmente mano de obra calificada.

2.4 SELECCIÓN DE PREDIOS UTILIZADOS COMO ESTUDIO DE CASO

Se seleccionaron dos predios (Predio1 y Predio2) como estudio 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). Dichos autores identificaron nueve grupos de predios que difieren principalmente en el uso de mano de obra contratada, nivel de mecanización y superficie regada. El grupo más importante dentro de esta tipología (grupo 1) representa el 60% de los productores hortícola-ganaderos del Departamento y el segundo en importancia (grupo 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). El Predio 2 corresponde al grupo 1 de la tipología, y el Predio 1 corresponde al grupo 2.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS PREDIOS UTILIZADOS COMO ESTUDIO DE CASO

Los dos predios seleccionados como estudios de caso fueron predios piloto en dos proyectos de investigación-acción (FPTA 209 y EULACIAS). Ambos predios combinaban la producción hortícola con la ganadería. Las principales diferencias entre los predios seleccionados fueron la superficie cultivable, la disponibilidad de riego, el tipo de suelo predominante, su pendiente y el IF mínimo objetivo (Cuadro 3). El IF mínimo objetivo se calculó como ingreso promedio per cápita en zonas rurales con población < 5000 habitantes a julio de 2009 (INE, 2009) multiplicado por el número de integrantes del núcleo familiar.

Cuadro 3: Características principales de los predios utilizados como estudio de caso.

Características	Predio 1	Predio 2	Factor que afectan
Superficie total (ha)	20,0	14,5	
Superficie cultivable (ha)	14,5	10,0	Área máxima para actividades productivas
Área regable (ha)	1,0	0,0	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	

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 a julio de 2009 * N° de integrantes del núcleo familiar.

2.6 PRIMERA ETAPA: DISEÑO DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Para la primera etapa de diseño de actividades productivas (Figura 2) fue desarrollada una nueva versión del modelo Field IMAGES, basada en el trabajo previo de Dogliotti *et al.* (2003, 2004).

El Field IMAGES genera y evalúa las actividades de producción a escala de cuadro. Primero genera rotaciones con el modelo ROTAT (Dogliotti *et al.*, 2003). Las rotaciones son luego combinadas con niveles de manejo (e.g. mecanización, riego, manejo de cultivos, etc) para crear actividades productivas. Cada actividad productiva es luego evaluada para generar tablas de insumo-producto (Dogliotti *et al.*, 2004).

En este estudio la evaluación incluyó el uso de mano de obra (requerimiento de mano de obra total y a lo largo del año); los resultados económicos (costos de producción y margen bruto), y el impacto en la calidad del suelo (erosión y balance de materia orgánica). La nueva versión incorporó la evaluación de cada actividad productiva desde el punto de vista de su producción mensual de forraje por hectárea (materia seca, energía metabolizable, proteína cruda y fibra).

Para el cálculo de resultados económicos se utilizó como fuente de información una serie histórica de precios de productos hortícolas (CAMM, 2009), de insumos y precios de ganado (DIEA, 2009) que abarca los años 2005 a 2008. Los valores de la serie de precios fueron 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. Los costos de producción no incluyeron la mano de obra.

2.6.1 Diseño de actividades de producción vegetal

Las actividades de producción hortícola y forrajera se definieron como diferentes rotaciones de cultivos. A los efectos de generar rotaciones de cultivos para los estudios de caso, se consideraron en cada escenario evaluado (Convencional e Integrado) diferentes opciones de cultivos hortícolas (Figura 2). En el escenario Integrado se incluyeron cultivos hortícolas destinados a la agroindustria. En el Cuadro 4 se presentan los cultivos hortícolas

seleccionados para cada escenario y las variables de manejo consideradas para generar las actividades de producción.

Cuadro 4: Cultivos hortícolas seleccionados para cada escenario estudiado y variables de manejo definidas para generar las actividades de producción hortícolas consideradas.

Escenario	Cultivos hortícolas	Nivel de mecanización	Nivel de Riego	Protección de cultivo	Manejo entre cultivos	Ganadería
Convencional	Ajo, Ajo temprano, Cebolla, Cebolla temprana, Puerro, Tomate, Maíz dulce, Calabacín, Boniato, Melón, Repollo, Alfalfa, Trigo, Pradera mezcla.	Bajo	No	Convencional	Calidad de suelo	No
			Medio		Alto	Forraje
Integrado	Chícharo, Tomate industria, Maíz dulce, Poroto, Cebolla, Cebolla temprana, Tomate, Calabacín, Broccoli, Trigo, Maíz, Alfalfa, Pradera mezcla.	Bajo	No	Convencional	Calidad de suelo	No
			Medio		Alto	Forraje

Calidad de suelo: implica que el forraje no puede ser utilizado por animales.

Forraje: implica que parte del forraje producido por los abonos verdes y todo el forraje producido por las pasturas está disponible para el consumo de animales

La combinación de variables de manejo consideradas para generar las actividades de producción hortícola, definieron 6 tipos de rotaciones: Rotaciones Hortícolas (RH) y Rotaciones Hortícola-forrajeras (RHF) que a su vez podían ser en seco, con riego restringido, y sin limitaciones de riego. Las RH son aquellas que incluyen cultivos hortícolas, abonos verdes y pueden tener pasturas. El forraje producido en estas rotaciones se vende como fardos y no es utilizado por animales en el predio. Las RHF también incluyen cultivos hortícolas, abonos verdes y pueden tener pasturas, pero en este caso parte del forraje producido por los abonos verdes y todo el forraje producido por las pasturas está disponible para el consumo de animales en el predio. Con relación a los niveles de riego, las rotaciones en seco solo incluyen cultivos hortícolas que pueden realizarse sin riego; en las rotaciones

con riego restringido se riegan solo aquellos cultivos hortícolas que solo pueden realizarse con riego y en las rotaciones sin limitaciones de riego se riegan todos los cultivos hortícolas que tiene buena respuesta al riego.

Fuera de estos grupos, incluimos una rotación exclusivamente forrajera (RF) de 5 años: Pradera – Avena&Raigrás – Moha.

La erosión promedio esperada como resultado de cada actividad de producción en cada tipo de suelo se estimó utilizando el modelo RUSLE (Renard *et al.*, 1997). El balance de materia orgánica promedio esperado se estimó utilizando el modelo ROTSOM (Dogliotti *et al.*, 2004).

La producción mensual de forraje esperada en cada actividad productiva y en cada tipo de suelo se estimó usando como fuentes de información GIPROCAR II (2009, no publicado) para definir la producción de materia seca, y Mieres (2004) y NRC (2000) para la concentración de energía metabolizable y aporte de proteína cruda y de fibra detergente neutro (FDN).

Debido a las limitantes que impone la capacidad computacional, es necesario que el número de actividades que se utiliza como entrada para el modelo de PL sea menor a 10.000. Como el número de actividades productivas generadas en la primera etapa fue muy superior a ese límite, se realizó un procedimiento de selección para reducir el número de actividades productivas que fueron usadas como entrada en la segunda etapa de la metodología. El procedimiento utilizado fue ordenar las actividades productivas en clases de 50 h ha⁻¹ de requerimiento de mano de obra, y seleccionar el 5% superior en productividad del trabajo (\$ h⁻¹) de cada clase (Dogliotti *et al.*, 2005). La productividad del trabajo para este procedimiento se calculó como la relación entre el MB (\$ ha⁻¹ año⁻¹) y el requerimiento de mano de obra (h ha⁻¹ año⁻¹). La performance del set de actividades de producción reducida mantuvo una variabilidad similar a la del set original con relación a características importantes como MB, erosión y BMO.

2.6.2 Diseño de actividades ganaderas

El diseño de actividades ganaderas se orientó al engorde de animales, buscando obtener productos diferenciados y de máxima calidad que satisfagan los requerimientos del

sector industrial y que puedan recibir un sobreprecio (Cardozo *et al.*, 2008). Estas actividades implican una producción intensiva que utiliza como base pasturas mejoradas, pastoreo rotativo con cambio de franja muy frecuente (1-4 días), alta carga animal, suplementación con fardo y granos y un estricto manejo sanitario. Los ciclos de producción son cortos y se procuran varios momentos de venta en el año, obteniendo productos homogéneos y que cumplan con las especificaciones que define la industria. Las alternativas apuestan a la productividad y no a negocios especulativos.

Las actividades de producción animal consideradas buscan generar variabilidad en relación a aspectos clave de las actividades ganaderas como ser categoría de reposición, producto final obtenido, momento de entrada y salida, duración del ciclo de engorde, producción de carne por animal, demanda de mano de obra. Fueron definidas utilizando el conocimiento experto propio y referencias nacionales (Cardozo *et al.*, 2008; Baldi *et al.*, 2008; Buffa *et al.*, 2008; Caravia y Gonzales, 1998).

Los requerimientos de mano de obra de cada una de las actividades ganaderas fueron cuantificados por lote de animales y no por cabeza. Por lo tanto la mano de obra requerida está determinada por el número de lotes y no por el número de animales por predio. Para las actividades con una duración de ciclo mayor a un año asumimos un sistema estabilizado, o sea que se compra un animal de reposición y se vende un animal gordo todos los años, por lo que hay períodos del año en que coexiste el lote de recría con el lote de terminación de esa actividad productiva.

El consumo máximo potencial de cada opción de producción animal, así como los requerimiento de energía, proteína y fibra, se estimaron en base al peso vivo inicial y a la evolución en el tiempo de la ganancia de peso vivo diario establecida como objetivo para cada mes y opción productiva.

El consumo máximo potencial se estimó según el NRC (2000). Dado que la base de alimentación de los animales es pasturas de buena calidad con suplementación estratégica con concentrados, estimamos para la variable Energía Neta de Mantenimiento de la dieta un valor fijo de 1,45 MCal / kg MS (NRC, 2000). Según las condiciones de producción en Uruguay y algunos antecedentes nacionales de medidas de consumo de animales en pastoreo (Chilibroste, com. pers. Julio 2011) incrementamos en 20% el valor de consumo máximo potencial calculado por NRC (2000) (Anexo 7.1).

Los requerimientos de energía neta de mantenimiento y energía neta de ganancia se estimaron por el sistema NRC (2000) y luego se convirtieron a energía metabolizable (EM) para obtener un único valor de requerimientos de energía y evitar referencias circulares dentro del modelo de programación lineal. Para hacer esta conversión se definieron los siguientes valores de eficiencia de uso de la energía metabolizable (NRC, 1984): mantenimiento (K_m) = 0,63 y ganancia (K_f) = 0,38; considerando que en los sistemas de producción de este estudio la alimentación del ganado se basa en pasturas mejoradas de buena calidad, con suplementación estratégica y ganancias de peso que oscilan entre 0,5 a 1,0 kg día⁻¹ (Anexo 7.1).

Los requerimientos de proteína cruda (PC) (g día⁻¹) se estimaron según las tablas de requerimientos para cada categoría animal del NRC (1984) y los requerimientos de fibra (FDN) (g día⁻¹) se definieron como el 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 calificación de la mano de obra que opera el sistema.

2.7 SEGUNDA ETAPA: DISEÑO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

El modelo Farm IMAGES, desarrollado por Dogliotti *et al.* (2005, 2006) para el diseño de sistemas de producción que combinen horticultura con ganadería, tiene algunas limitantes que no permiten alcanzar el objetivo de este estudio: (i) puede evaluar una sola actividad de producción animal. (ii) no considera la posibilidad de comprar alimentos externos al predio (iii) no tiene en cuenta las variaciones mensuales de producción y calidad de forraje. Por lo tanto, para la realización de este estudio se desarrolló una versión mejorada de este modelo que levanta las tres restricciones mencionadas.

El Farm IMAGES es un modelo de programación lineal multicriterio que combina variables de decisión continuas y enteras. Optimiza una función objetivo, que puede cambiar en cada corrida del modelo, combinando actividades de producción, considerando restricciones técnicas y socioeconómicas específicas de cada predio. Las actividades de producción son seleccionadas de la lista que genera el Field IMAGES a escala de cuadro, para cada escenario evaluado.

El Farm IMAGES no solo propone la mejor combinación de actividades de producción para cada predio de acuerdo al objetivo optimizado, sino que también determina el área (ha) que debe ser cultivada con cada una de las actividades de producción hortícola y forrajera seleccionadas y el número de animales de cada una de las actividades de producción animal seleccionadas. Adicionalmente el modelo define otras variables a nivel de predio como ser el tipo y la cantidad (kg/mes) de suplementos comprados, la cantidad de mano de obra contratada (hs/quincena), etc (ver Figura 3). El modelo fue escrito, compilado y ejecutado utilizando Xpress Optimization Suite 7 (FICO™).

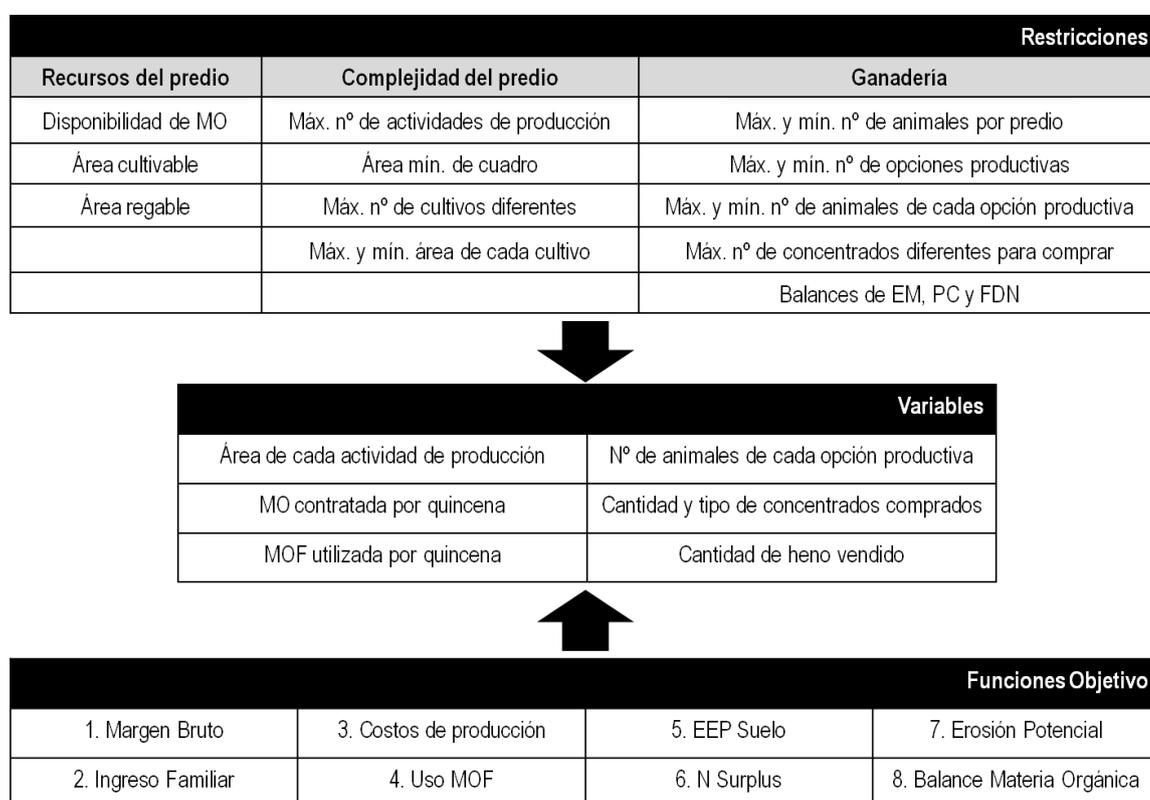


Figura 3: Modelo Farm IMAGES: variables, restricciones y funciones objetivo. EM: Energía metabolizable; PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra detergente neutro; MO: Mano de obra; MOF: Mano de obra familiar; EEP: Exposición ambiental a pesticidas.

Las funciones objetivo socio-económicas utilizadas en este estudio fueron:

Ingreso familiar (IF) (\$ año⁻¹): se calculó como la suma de los márgenes brutos de las actividades de producción hortícola y forrajera seleccionadas (no incluye costos de mano de

obra), más, la suma de los márgenes primarios de las actividades ganaderas seleccionadas, más, el ingreso por venta de fardos; a lo que se le resta, el costo de compra de concentrados, el costo de producción de fardos, el costo de contratación de mano de obra y los costos fijos. Requerimiento de capital (RC) ($\$ \text{año}^{-1}$): se calculó como la suma de los costos de producción de las actividades hortícolas y forrajeras seleccionadas (no incluye mano de obra), más, los costos de producción de la ganadería (reposición y sanidad), más, los costos de comprar de concentrados, más, los costos de contratación de mano de obra, más, los costos de producción de fardos, más, los costos fijos.

Las funciones objetivo ambientales utilizadas fueron: Erosión ($\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y Balance de Materia Orgánica en el suelo (BMO) ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), que a nivel de predio se calcularon como la suma de los valores de cada actividad productiva ponderado por el área que esta ocupa.

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 lo que es la oferta de nutrientes y la demanda de los animales (EM, PC y FDN), sujeto a algunas restricciones. La oferta de nutrientes puede provenir del mismo predio o de fuentes externas al mismo, producto de la compra de fardos (de pradera y/o de alfalfa) y/o de 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 mensual de EM, PC y FDN se aumentó en un 20% como forma de permitir 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 sobreestimación 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 calcularon en función del excedente de nutrientes de los meses de setiembre a marzo. Para el uso de las reservas de forraje se asume menor calidad acorde a información de tablas publicadas por Mieres (2004) y NRC (2000) y pérdidas de utilización del 20%.

En el caso particular de este trabajo restringimos las opciones de alimentación en el modelo de manera de asegurar que ni el nivel de consumo de concentrados, ni el nivel de consumo de fardos supere el 1% del peso vivo de los animales, de manera que la base de la

alimentación de los animales en los sistemas de producción fuera la pastura. Esto procuró capitalizar las sinergias y lograr complementar la horticultura y la ganadería, ya que los animales al consumir el forraje producido dan viabilidad económica a las rotaciones largas que incluyen praderas y verdeos, lo que contribuye a mejorar la calidad del suelo y a aumentar el rendimiento de los cultivos hortícolas.

2.7.1 Ejercicios de simulación realizados

Para cada caso de estudio y cada escenario se realizaron cuatro rondas de simulaciones sucesivas.

En la primera ronda de simulaciones, también llamada corrida 0, se optimizan las funciones objetivo principales: Ingreso Familiar (IF), Capital Requerido (CR), Erosión (E) y Balance de Materia Orgánica (BMO), sin ningún nivel de restricción excepto el de utilizar como área mínima la que se utiliza cuando se maximiza el IF, a fin de explorar los valores mejores y peores posibles para las variables más relevantes en cada una de las situaciones. Esta corrida sirve como insumo para definir los valores mínimos o máximos de las variables que fueron utilizados como restricciones en las rondas de simulación posteriores.

En la segunda ronda de simulaciones se analizó el 'trade-off' existente entre IF y la conservación del suelo expresada a través de la erosión. Para esto se maximizó el IF variando el nivel máximo de erosión permitido (dentro del rango obtenido para erosión en la corrida 0), mientras que el BMO se mantuvo en un nivel mínimo de 0.

En la tercera ronda de simulaciones se analizó el efecto del tipo de actividad ganadera realizada en el predio. Para esto se maximizó el IF, haciendo variar el tipo de opción ganadera pasible de ser elegida para diseñar el sistema de producción. El ejercicio se realizó fijando el máximo de erosión igual al nivel tolerable según el tipo de suelo (Cuadro 3), siempre que con dicho nivel se pudiera superar el IF mínimo para el predio (Cuadro 3). En caso contrario se identificaba el nivel de erosión para el cual el sistema de producción supera el IF mínimo, realizando una corrida en la cual se minimizaba erosión y se ponían restricciones para que el área utilizada fuera la que se utiliza cuando se maximiza el IF y para que el IF superara el valor del IF mínimo (Cuadro 3). En todos los casos se estableció que el BMO fuera positivo.

El efecto en los resultados obtenidos de variaciones en el precio del ganado y en el precio de grano se analizó en la cuarta ronda de simulaciones. Para ello se maximizó el IF, utilizando en cada predio y escenario el nivel de erosión utilizado en la tercera ronda de simulaciones, y se variaron los precios del ganado y del grano. El rango de variación estudiado fue de +/- 10% en el precio del ganado (aumentando tanto precio de compra como precio de venta) y de +/- 10 % en el precio del grano respecto a los valores que fueron utilizados como base para este trabajo; realizando un factorial con tres niveles de precio de ganado y tres niveles de precio de grano. Dentro de este rango de variación también se exploró el efecto del tipo de actividad ganadera, con el objetivo de explorar si el nuevo contexto de precios variaba las opciones que eran incluidas en los sistemas de producción.

3 RESULTADOS

3.1 ACTIVIDADES DE PRODUCCIÓN VEGETAL

En base a los cultivos seleccionados para cada escenario y a las medidas de manejo predefinidas se generaron con el Field IMAGES un total de 120117 actividades de producción para el escenario Convencional y de 371233 para el escenario Integrado. Las mismas fueron caracterizadas detalladamente para cada estudio de caso (Predio 1 y 2), siendo las principales variables el IF obtenido, la mano de obra requerida, la erosión y el BMO. Dicho set de actividades de producción fue reducido a un 4% y 2% en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente. Para el Predio 1 se seleccionaron 7437 y 4815 actividades de producción, y 7455 y 4820 para el Predio 2, en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente. El set de actividades de producción seleccionado mantuvo la amplitud del rango de variación presente en el set original.

Las combinaciones de medidas de manejo consideradas para generar las actividades de producción determinaron grupos con características diferentes (Cuadro 5 y 6). En ambos predios y escenarios, la presencia de riego aumentó en promedio dos veces y media el margen bruto de las actividades de producción respecto a las actividades que no tenían riego.

Ninguna de las rotaciones hortícolas tuvo un nivel de erosión menor a $7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y la rotación forrajera presentó bajo nivel de erosión y margen bruto negativo. En ambos predios y escenarios las actividades que incluyeron al cultivo de tomate tienen un mejor margen bruto que las que no lo incluyen, distinguiéndose así dos nubes de puntos en los gráficos de margen bruto en función de la tasa de erosión (Figura 4). Las rotaciones hortícolas que incluyen una fase de pasturas (praderas o alfalfa) son las que tuvieron menor erosión.

Cuadro 5. Caracterización, en valores promedio, de las actividades de producción vegetal generadas y evaluadas para el Predio 1 en función de la combinación de medidas de manejo utilizadas.

Manejo	n	Fracción regada	Margen Bruto (\$ ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)	Req. MO (hs año ⁻¹)	Erosión (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	BMO (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Prod. MS (kg MS ut. ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Escenario Convencional									
RH	SR	59	0	55353	18854	629	11,8	449	0
RH	RM	1172	0,424	113001	27603	906	12,7	496	0
RH	RA	1176	0,617	134787	30677	1011	12,0	474	0
RHF	SR	59	0	46862	15629	589	11,5	403	2894
RHF	RM	1175	0,429	103671	25745	880	12,8	412	2966
RHF	RA	1173	0,621	123035	28374	979	12,1	401	3081
RF	SR	1	0	-6065	6065	18	2,8	273	4282
Escenario Integrado									
RH	SR	227	0	42137	16943	490	16,3	414	0
RH	RM	1746	0,355	104811	25332	745	14,0	421	0
RH	RA	1747	0,533	116851	27066	794	13,9	419	0
RHF	SR	225	0	38041	16498	484	17,0	337	1908
RHF	RM	1746	0,365	94738	24389	720	14,2	337	2405
RHF	RA	1745	0,546	104935	25963	767	14,3	337	2288
RF	SR	1	0	-6065	6065	18	2,8	273	4282

RH= Rotación Hortícola RHF=Rotación Hortícola Forrajera RF= Rotación Forrajera SR=Sin riego RM=Riego medio RA=Riego alto MO= Mano de obra BMO= Balance de materia orgánica Fracción regada: fracción del área de la rotación que se riega Prod. MS: producción de forraje utilizable que genera cada hectárea de la rotación.

Cuadro 6. Caracterización, en valores promedio, de las actividades de producción vegetal generadas y evaluadas para el Predio 2 en función de la combinación de medidas de manejo utilizadas.

Manejo	n	Fracción regada	Margen Bruto (\$ ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)	Req. MO (hs año ⁻¹)	Erosión (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	BMO (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Prod. MS (kg MS ut. ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Escenario Convencional									
RH	SR	59	0	53860	18364	649	11,4	148	0
RH	RM	1178	0,453	116574	28096	934	12,7	175	0
RH	RA	1176	0,617	134787	30677	1011	11,9	166	0
RHF	SR	58	0	46696	15595	625	11,2	106	3217
RHF	RM	1175	0,447	106545	26042	904	12,7	90	3285
RHF	RA	1173	0,615	123024	28288	979	12,0	92	3395
RF	SR	1	0	-5280	5280	18	2,8	93	5186
Escenario Integrado									
RH	SR	228	0	53050	14791	513	16,0	59	0
RH	RM	1750	0,341	109736	25783	756	14,0	83	0
RH	RA	1751	0,524	118864	27304	792	13,9	81	0
RHF	SR	226	0	48353	14429	504	16,8	-33	1814
RHF	RM	1750	0,354	99198	24706	732	14,3	-6	2452
RHF	RA	1749	0,540	105656	26158	763	14,3	-5	2295
RF	SR	1	0	-5280	5280	18	2,8	93	5186

RH= Rotación Hortícola RHF=Rotación Hortícola Forrajera RF= Rotación Forrajera SR=Sin riego RM=Riego medio RA=Riego alto MO= Mano de obra BMO= Balance de materia orgánica Fracción regada: fracción del área de la rotación que se riega Prod. MS: producción de forraje utilizable que genera cada hectárea de la rotación.

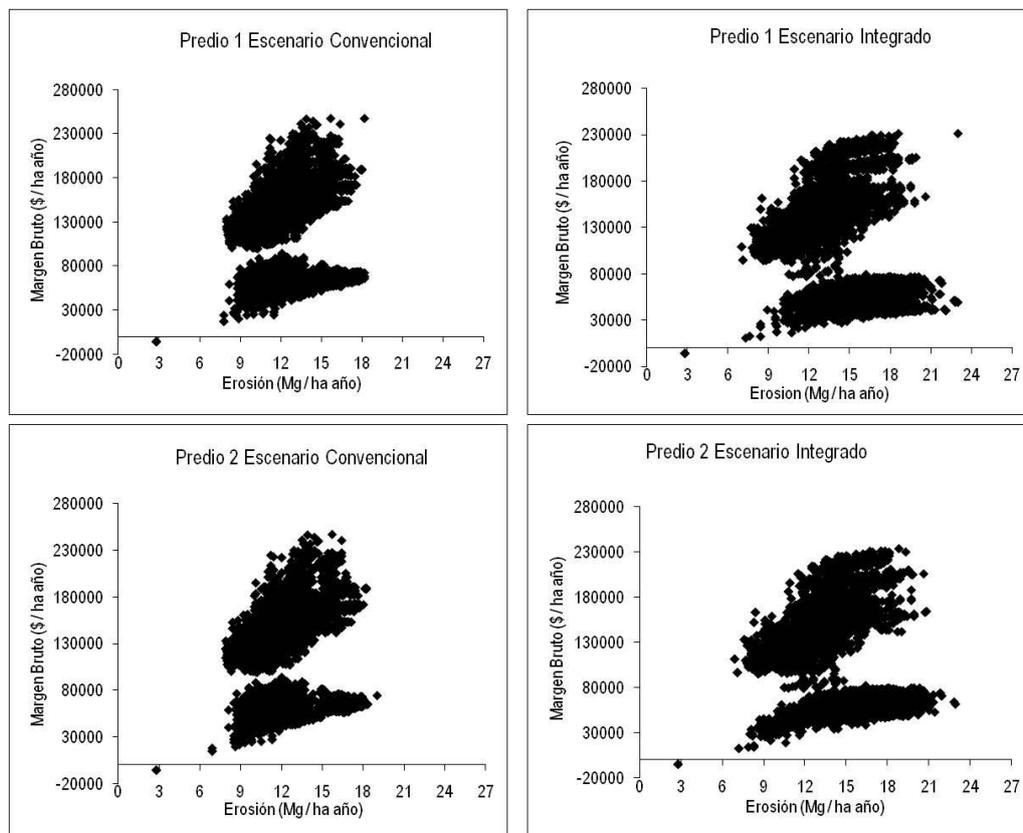


Figura 4: Relación entre Margen Bruto y erosión de cada actividad de producción vegetal seleccionada para el diseño de sistemas de producción hortícola-ganaderos sostenibles.

3.2 ACTIVIDADES GANADERAS

Las actividades definidas corresponden al engorde de machos en ciclos largos o cortos, engorde de vaquillonas y engorde de vacas (Cuadro 7). El novillo gordo especial apunta fundamentalmente a la exportación, las vaquillonas gordas especiales se orientan al mercado interno con un producto de calidad diferenciada y la vaca gorda especial se destina principalmente al abasto del mercado interno. Esta diferencia de productos finales origina diferencias en el precio de venta y en la comercialización. La categoría utilizada como reposición varía desde terneros a novillos formados, terneras de destete 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 esperadas fueron altas y variaron 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 de circulación de capital y, junto con la ganancia diaria de peso, afecta también la demanda de forraje a lo largo del año. Las actividades de 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. Las diferencias en producción de carne por animal y en la relación flaco/gordo afectan la dependencia del resultado económico con la productividad y las variaciones de precios, influyendo directamente en el riesgo inherente a la actividad ganadera.

El conjunto de variables anteriores determinaron diferencias entre actividades en productividad de la mano de obra y en productividad de la energía metabolizable requerida, siendo el engorde de MCH CC la actividad con los menores valores en estas dos características (Cuadro 7).

Cuadro 7: Caracterización de las actividades ganaderas seleccionadas para el trabajo.

	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 Metabilizable (\$ Mcal ⁻¹) ⁵	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.

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

3.3 RESULTADOS CORRIDA 0

Los resultados para el Predio 1 y el escenario Convencional de maximizar o minimizar cada una de las funciones objetivo en base a los recursos disponibles en el predio y sin ningún nivel de restricción (salvo el utilizar como área mínima la que se utiliza cuando se maximiza el IF) muestran que el máximo IF fue de 521980 \$ año⁻¹, el CR mínimo fue de 125482 \$ año⁻¹, la menor erosión promedio por área cultivada fue 4,6 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y el mejor BMO promedio por área cultivada fue de 469 kg ha⁻¹ año⁻¹; mientras que en el escenario Integrado dichas variables alcanzaron los valores de 623325 \$ año⁻¹, 160902 \$ año⁻¹, 4,2 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y 469 kg ha⁻¹ año⁻¹. Los peores valores de erosión fueron de 9,4 y 10,2 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente. Los peores valores de BMO fueron de 296 y 294 kg ha⁻¹ año⁻¹ en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente.

Para el Predio 2 en el escenario Convencional el máximo IF fue de 256274 \$ año⁻¹, el CR mínimo fue de 148134 \$ año⁻¹, la menor erosión promedio por área cultivada fue 2,9 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y el mejor balance de materia orgánica promedio por área cultivada fue de 221 kg ha⁻¹ año⁻¹. En el escenario Integrado dichas variables tomaron los valores de 388237 \$ año⁻¹, 153834 \$ año⁻¹, 2,8 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y 164 kg ha⁻¹ año⁻¹. Los peores valores de erosión fueron 9,1 y 12,7 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Convencional e Integrado, respectivamente. Los peores valores de BMO fueron 93 y 0 kg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Convencional e Integrado, respectivamente.

3.4 'TRADE OFF' ENTRE INGRESO FAMILIAR Y CONSERVACIÓN DEL SUELO

En ambos predios y escenarios el mayor IF se obtuvo a costa de aceptar un nivel de erosión muy superior al máximo tolerable (Figura 5). La exploración con el Farm IMAGES mostró que el IF disminuye al aumentar la exigencia en el nivel de erosión máxima permitido. Bajar la erosión hasta su nivel máximo tolerable (Puentes y Szogi, 1983), implicaría una pérdida de 11,6 y 28% de IF en el Predio 1 y 31,2 y 99,6% en el Predio 2 en los escenarios Convencional e Integrado, respectivamente. Sin embargo, aún en el nivel mínimo de erosión, en el Predio 1 en ambos escenarios y en el Predio 2 en el escenario Convencional pudo

superarse el IF mínimo para cada predio (Cuadro 3). En el caso del Predio 2 escenario Integrado el nivel de erosión con el cual se alcanza el IF mínimo fue de 6,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

En general, para ambos predios los valores de IF fueron mayores en el escenario Integrado que en el Convencional. Sin embargo para el nivel máximo de erosión permitido de 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹, el IF obtenido en el escenario Convencional fue mayor que el obtenido en el escenario Integrado.

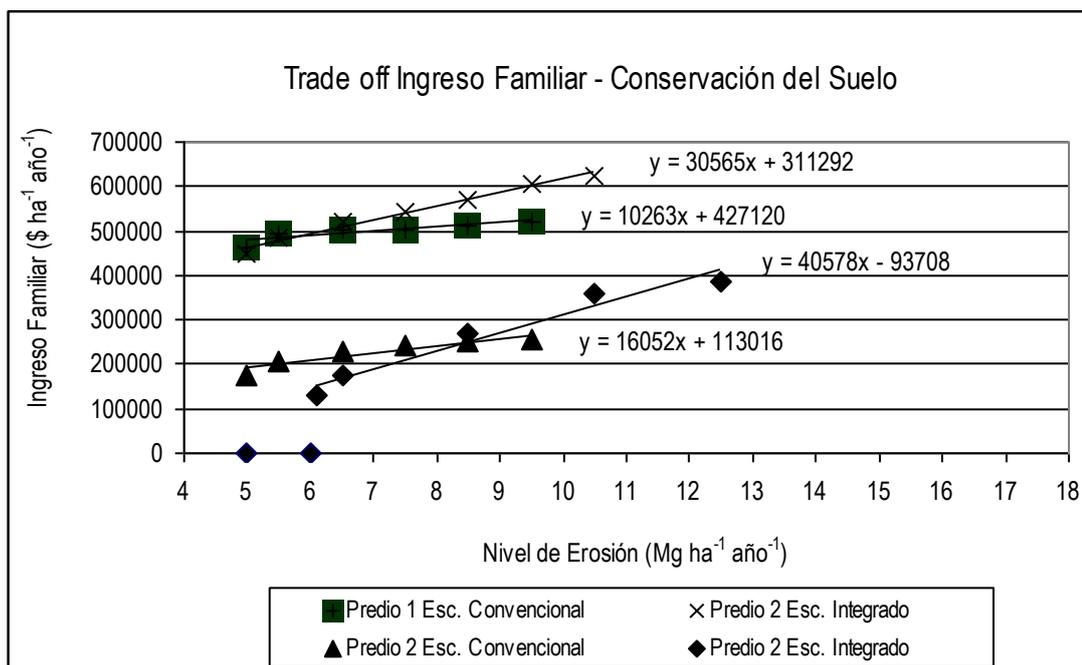


Figura 5: Trade off entre Ingreso Familiar y Conservación de Suelo expresada como el Nivel de Erosión para los dos predios y escenarios estudiados.

En ambos predios, el modelo incluyó a la ganadería en el sistema de producción cuando el nivel de erosión fue inferior a 7,5 y 8,5 en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente, (Cuadros 8 y 9). En el Predio 1 escenario Convencional y en el nivel de erosión tolerada $\leq 7,5$, la misma fue incluida en el sistema aunque no contribuyó significativamente al IF. En el nivel de erosión $\leq 5,0$ y en el Predio 1, la ganadería participó con un 6 % del IF en ambos escenarios, e insumió 14,7 y 20 % de la mano de obra familiar utilizada en el sistema de producción para el escenario Convencional e Integrado, respectivamente. En el Predio 2 y en el nivel ≤ 5 la misma participa con un 15 y 100% del IF e

insume 19,4 y 100% de la mano de obra familiar utilizada, en el escenario Convencional e Integrado respectivamente. En este predio y para el escenario Integrado, a partir del nivel de erosión $\leq 6,0$ la ganadería pasa a ser la única actividad de producción.

El CR aumentó al disminuir los niveles permitidos de erosión, para ambos predios y escenarios. El incremento es mayor cuando la ganadería entró al sistema de producción (Cuadro 8 y 9).

Cuadro 8: Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos, para los dos escenarios estudiados.

Nivel de Erosión Tolerado	Ingreso Familiar (\$ año ⁻¹)	%IF Horti.	%IF Gan.	Capital requerido (\$ año ⁻¹)	Erosion ¹ (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	BMO ¹ (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Uso MOF Total (h año ⁻¹)	Uso MOF Horti. (h año ⁻¹)	Uso MOF Gan. (h año ⁻¹)	Uso MOC (h año ⁻¹)	Productividad MOF Total (\$ h ⁻¹)
Escenario Convencional											
$\leq 9,5$	521980	100	-	217462	9,4	429	4631	4631	-	360	113
$\leq 8,5$	512528	100	-	208938	8,5	448	4605	4605	-	360	111
$\leq 7,5$	502535	100	0	298289	7,5	388	4674	4489	185	360	108
$\leq 6,5$	504509	85	15	338082	6,5	363	4625	4015	610	360	109
$\leq 5,5$	495829	91	9	456911	5,3	333	4692	4060	632	360	106
$\leq 5,0$	461511	94	6	421565	4,8	304	4484	3822	662	360	103
Escenario Integrado											
$\leq 10,5$	623325	100	-	260718	10,24	289	4237	4237	-	360	147
$\leq 9,5$	606877	100	-	260077	9,5	295	4005	4005	-	360	152
$\leq 8,5$	570513	92	8	278941	8,5	271	4189	3862	327	360	136
$\leq 7,5$	543832	97	3	335481	7,5	303	4081	3532	549	360	133
$\leq 6,5$	521040	96	4	327059	6,5	255	4417	3661	756	360	118
$\leq 5,5$	484604	91	9	401549	5,5	291	3683	3070	613	360	132
$\leq 5,0$	448788	94	6	402645	5	304	3237	2589	648	360	139

% IF Horti.= % del Ingreso Familiar generado por Horticultura %IF Gan.= % del Ingreso Familiar generado por Ganadería

BMO= Balance de Materia Orgánica MOF= Mano de obra familiar MOC= Mano de obra contratada

Productividad MOF Total= Ingreso Familiar/Uso MOF Total

¹Promedio para el área cultivada

En el Predio 1 la productividad de la mano de obra total no tuvo variaciones significativas (menores a 10%) cuando bajó el nivel de erosión tolerado en ambos escenarios, pero fue en promedio 26% mayor en el escenario Integrado que en el Convencional (Cuadro 8). En el Predio 2 la productividad de la mano de obra total disminuye cuando disminuye el nivel de erosión tolerado; cuando pasamos de la máxima a la mínima erosión esta

disminución fue de 21 y 98% en el escenario Convencional e Integrado respectivamente (Cuadro 9). En este caso la productividad de la mano de obra total es superior en el escenario Integrado que en el Convencional para los mayores niveles de erosión.

Cuadro 9: Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 2 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos, para los dos escenarios estudiados.

Nivel de Erosión Tolerado	Ingreso Familiar (\$ año ⁻¹)	%IF Horti.	%IF Gan.	Capital requerido (\$ año ⁻¹)	Erosion ¹ (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	BMO ¹ (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Uso MOF Total (h año ⁻¹)	Uso MOF Horti. (h año ⁻¹)	Uso MOF Gan. (h año ⁻¹)	Uso MOC (h año ⁻¹)	Productividad MOF Total (\$ h ⁻¹)
Escenario Convencional											
≤9,5	256274	100	-	195462	8,9	170	3519	3519	-	300	73
≤8,5	249528	100	-	191836	8,4	184	3519	3519	-	300	71
≤7,5	241220	74	26	281097	7,5	101	3519	3131	388	300	69
≤6,5	229973	74	26	379468	6,5	112	3519	2977	542	300	65
≤5,5	207091	86	14	308995	5,5	132	3344	2774	570	277	62
≤5,0	176237	85	15	301585	5,0	135	3005	2421	584	109	59
Escenario Integrado											
≤12,5	387726	100	-	205125	11,9	26,5	3519	3519	-	300	110
≤10,5	359358	100	-	204766	10,5	23,3	3229	3229	-	200	111
≤8,5	269447	96	4	242064	8,5	41	2976	2471	505	62	91
≤6,5	176149	89	11	267683	6,5	59,1	2230	1482	748	-	79
≤6,1	128254	87	13	248149	6,1	63,6	2450	1780	742	-	52
≤6,0	1611	-	100	346073	2,8	92,9	869	-	869	-	2
≤5,0	1611	-	100	346073	2,8	92,9	869	-	869	-	2

% IF Horti. = % del Ingreso Familiar generado por Horticultura %IF Gan. = % del Ingreso Familiar generado por Ganadería BMO= Balance de Materia Orgánica MOF= Mano de obra familiar MOC= Mano de obra contratada
Productividad MOF Total= Ingreso Familiar/Usos MOF Total
¹Promedio para el área cultivada

La actividad ganadera fue cada vez mas importante en la medida que bajó el nivel de erosión, lo que se refleja en el aumento el área ganadera y de la producción de carne en ambos predios (Cuadro 10 y 11). En el Predio 1, promediando los valores obtenidos para los niveles de erosión <6,5 <5,5 y <5,0, se produjeron 5651 y 4248 kg de carne por año en 10,4 y 9,2 ha de superficie ganadera en los escenarios Convencional e Integrado, respectivamente. En el Predio 2, promediando los valores obtenidos para los niveles de erosión <7,5 <6,5 <5,5 y <5,0 en el escenario Convencional, se produjeron 4425 kg carne por año y se utilizaron 6,44 ha de superficie ganadera. En el escenario Integrado y para el nivel de erosión <5,0, la

producción de carne anual alcanzó a 5646 kg y utilizó toda el área disponible en el predio (10 ha).

Cuadro 10: Caracterización de la actividad ganadera en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos para los dos escenarios estudiados.

Nivel de Erosión Tolerado	Actividad Ganadera	Producción de carne (kg año ⁻¹)	Area Gan. Promedio (ha año ⁻¹)	Carga Promedio (kg PV ha ⁻¹ año ⁻¹)	Producción de carne (kg ha ⁻¹)	Uso de concentrados (kg ha ⁻¹)
Escenario Convencional						
≤9,5	NO	-	-	-	-	-
≤8,5	NO	-	-	-	-	-
≤7,5	9 V2	900	2,8	417	321	842
≤6,5	22 V2 + 17 VAQ	6824	11,0	799	620	1044
≤5,5	19 V2 + 13 VAQ	5436	10,1	694	538	868
≤5,0	17 V2 + 11 VAQ	4692	10,0	605	469	642
Escenario Integrado						
≤10,5	NO	-	-	-	-	-
≤9,5	NO	-	-	-	-	-
≤8,5	10 VAQ	2720	5,0	694	540	781
≤7,5	8 V2 + 5 VAQ	2160	4,6	608	472	666
≤6,5	5 V2 + 9 MCH CL1	3488	8,6	577	404	390
≤5,5	15 V2 + 12 VAQ	4764	9,7	631	490	649
≤5,0	15 V2 + 11 VAQ	4492	9,3	622	482	723

NO= No hay ganadería V2= Engorde de vacas opción 2 VAQ= Engorde de vaquillonas
MCH CL1= Engorde de machos en ciclo largo opción 1.

En ambos predios y escenarios, la ganadería se incorporó como una actividad intensiva con altas cargas (417 a 1042 kg de PV ha⁻¹ promedio en el año), con suplementación utilizando niveles importantes de concentrado (642 a 1345 kg de concentrado ha⁻¹ año⁻¹) y con buenos resultados productivos (321 a 811 kg de PV ha⁻¹ año⁻¹). Sin embargo en el Predio 2 la ganadería presentó un nivel de intensificación y productividad mayor que en el Predio 1. En general, la carga promedio anual, la utilización de concentrados y la producción de carne por ha fue siempre mayor en el Predio 2 que en el Predio 1 (Cuadros 10 y 11).

Cuadro 12: Uso del suelo en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos para los dos escenarios estudiados.

Nivel de Erosión Tolerado	Área utilizada (ha)	Área regada (ha)	Área RH (ha)	Área RHF (ha)	Área RF (ha)	Área cultivada total (ha)	Área cultivos hortícolas (ha)
Escenario Convencional							
≤9,5	8,1	1,00	8,06	-	-	8,06	3,02
≤8,5	7,5	0,81	7,53	-	-	7,52	2,66
≤7,5	9,9	0,80	7,11	-	2,80	10,47	2,64
≤6,5	14,5	1,00	-	7,00	7,48	15,98	3,00
≤5,5	14,5	0,81	2,84	3,10	8,57	16,21	2,11
≤5,0	13,5	0,95	3,47	-	10,00	15,47	1,74
Escenario Integrado							
≤10,5	14,5	0,94	14,50	-	-	14,49	5,64
≤9,5	14,5	0,83	14,50	-	-	14,49	5,08
≤8,5	14,5	0,92	5,54	8,96	-	14,49	4,08
≤7,5	14,5	0,81	9,92	-	4,58	15,41	3,85
≤6,5	14,5	0,98	5,86	-	8,64	16,24	2,94
≤5,5	14,5	0,90	3,15	3,70	7,65	16,02	2,27
≤5,0	14,5	0,65	5,19	-	9,31	16,37	1,95

RH= Rotación Hortícola RHF=Rotación Hortícola Forrajera
RF= Rotación Forrajera

Cuadro 13: Uso del suelo en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 2 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos para los dos escenarios estudiados.

Nivel de Erosión Tolerado	Área utilizada (ha)	Área regada (ha)	Área RH (ha)	Área RHF (ha)	Área RF (ha)	Área cultivada total (ha)	Área cultivos hortícolas (ha)
Escenario Convencional							
≤9,5	10	-	10,00	-	-	10,27	3,6
≤8,5	10	-	10,00	-	-	9,99	3,43
≤7,5	10	-	-	7,05	2,95	10,64	2,74
≤6,5	10	-	-	5,76	4,23	11,42	2,67
≤5,5	10	-	3,83	0,60	5,57	12,31	2,05
≤5,0	10	-	2,60	0,80	6,60	11,32	1,41
Escenario Integrado							
≤12,5	10	-	10,00	-	-	11,43	6,24
≤10,5	10	-	10,00	-	-	11,43	5,00
≤8,5	10	-	7,50	-	2,50	11,56	3,70
≤6,5	10	-	5,78	-	4,22	10,86	2,49
≤6,1	10	-	6,11	-	3,89	7,73	2,04
≤6,0	10	-	-	-	10,00	12,00	-
≤5,0	10	-	-	-	10,00	12,00	-

RH= Rotación Hortícola RHF=Rotación Hortícola Forrajera
RF= Rotación Forrajera

La selección de cultivos hortícolas no varió significativamente dentro de cada escenario (Cuadro 14 y 15), excepto en el Predio 2 escenario Integrado donde a partir del nivel de erosión ≤6 no se realizan cultivos hortícolas.

Cuadro 14: Tipo de cultivos presentes en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos para los dos escenarios estudiados.

Escenario Convencional												
Nivel de Erosión Tolerado	Aj T (ha)	Ceb (ha)	Pu (ha)	To (ha)	Cal (ha)	Bo (ha)	Re (ha)	Tr (ha)	Alf (ha)	Mo (ha)	Av & Rg (ha)	P4 (ha)
≤9,5	0,40	-	0,60	0,40	0,91	0,71	-	1,11	3,93	-	-	-
≤8,5	0,40	0,40	-	0,40	0,73	0,73	-	1,46	3,40	-	-	-
≤7,5	0,40	0,40	-	0,40	0,72	0,72	-	1,12	3,35	0,56	0,56	2,24
≤6,5	-	-	0,59	0,41	1,00	1,00	-	1,00	3,00	1,50	1,50	5,98
≤5,5	0,41	0,41	-	0,41	0,44	0,44	-	1,29	2,54	1,71	1,71	6,85
≤5,0	0,58	0,58	-	0,38	-	-	0,20	-	1,73	2,00	2,00	8,00

Escenario Integrado												
Nivel de Erosión Tolerado	Chi (ha)	Po (ha)	Ceb T (ha)	Ceb (ha)	To (ha)	Cal (ha)	Tr (ha)	P3 (ha)	Alf (ha)	Mo (ha)	Av & Rg (ha)	P4 (ha)
≤10,5	2,31	1,02	-	0,58	0,35	1,38	2,98	-	5,87	-	-	-
≤9,5	1,60	1,51	-	0,46	0,37	1,14	3,49	-	5,92	-	-	-
≤8,5	2,04	-	-	0,51	0,41	1,12	3,16	4,48	2,77	-	-	-
≤7,5	1,29	0,87	-	0,40	0,40	0,89	2,18	-	3,87	0,92	0,92	3,67
≤6,5	0,98	-	0,43	0,55	0,43	0,55	-	-	2,93	1,73	1,73	6,91
≤5,5	0,91	-	-	0,45	0,45	0,46	1,37	1,85	1,35	1,53	1,53	6,12
≤5,0	0,85	-	-	0,00	0,45	0,65	1,30	-	1,95	1,86	1,86	7,45

Aj T.=Ajo temprano Ceb=Cebolla Pu=Puerro To=Tomate Cal= Calabacín B0= Boniato
 Re=Repollo Tr=Trigo Alf=Alfalfa Mo= Moha Av&Rg= Avena y Raigrás P4=Pradera 4 años
 Chi=Chícharo Po=Poroto Ceb T= Cebolla temprana P3=Pradera 3 años.

Cuadro 15: Tipo de cultivos presentes en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 2 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se disminuyen los niveles de erosión permitidos para los dos escenarios estudiados.

Escenario Convencional											
Nivel de Erosión Tolerado	Aj T (ha)	Ceb (ha)	Cal (ha)	Bo (ha)	Re (ha)	Tr (ha)	Alf (ha)	P3 (ha)	Mo (ha)	Av & Rg (ha)	P4 (ha)
≤9,5	0,26	-	1,67	1,41	0,26	1,67	5,00	-	-	-	-
≤8,5	0,27	-	1,58	1,58	-	1,7	4,36	0,50	-	-	-
≤7,5	0,56	-	1,09	1,09	-	1,09	3,27	-	0,59	0,59	2,36
≤6,5	0,56	-	1,33	0,78	-	1,33	2,33	-	0,85	0,85	3,39
≤5,5	0,65	0,10	0,65	0,65	-	0,65	1,94	-	1,11	1,11	5,45
≤5,0	0,47	-	0,47	0,47	-	0,57	1,42	-	1,32	1,32	5,28

Escenario Integrado										
Nivel de Erosión Tolerado	Chi (ha)	Po (ha)	Ceb (ha)	Cal (ha)	Br (ha)	Alf (ha)	Tr (ha)	Mo (ha)	Av & Rg (ha)	P4 (ha)
≤12,5	1,15	1,15	0,82	1,70	1,42	3,44	1,75	-	-	-
≤10,5	-	1,43	0,71	1,43	1,43	4,29	2,14	-	-	-
≤8,5	-	1,07	0,49	1,07	1,07	3,21	1,65	0,50	0,50	2,00
≤6,5	-	0,83	-	0,83	0,83	2,48	0,83	0,84	0,84	3,38
≤6,1	1,02	-	-	-	1,02	-	1,02	0,78	0,78	3,11
≤6,0	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,00	8,00
≤5,0	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,00	8,00

Aj T.=Ajo temprano Ceb=Cebolla Cal= Calabacín Bo=Boniato Re=Repollo Tr=Trigo
 Alf=Alfalfa P3=Pradera 3 años Mo= Moha Av&Rg= Avena y Raigrás P4=Pradera 4 años
 Chi=Chicharo Po=Poroto Br=Brócoli .

Al inicio de los proyectos FPTA 209 y EULACIAS la situación de erosión estimada era diferente en ambos predios, mientras que el IF era aproximadamente igual. En el Predio 2 el área dedicada a la horticultura era mucho menor y la mayor parte del predio estaba bajo pasturas plurianuales y verdes. El Predio 1 tenía un área mayor de hortalizas, maíz, paja escoba y un área pequeña de pasturas. Como resultado de la intervención de los proyectos se logró una mejora significativa del IF en ambos predios (Figura 6) y una reducción de más del 50% de la erosión estimada en el Predio 1. Sin embargo en el Predio 2 la mejora del ingreso se logró a costa de aumentar 15% la erosión, aunque manteniéndola por debajo del nivel de tolerancia de 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹. La estrategia seguida para lograr estos cambios en el Predio 1 fue reducir el área de hortalizas, cambiar la selección de cultivos e incorporar la

rotación de cultivos hortícolas con cereales y pasturas, y realizando abonos verdes en los períodos entre cultivos. También se incorporó riego para media hectárea de hortalizas. En el Predio 2 se incrementó el área de hortalizas, se cambió la selección de cultivos y se incorporó la rotación de cultivos hortícolas con alfalfa y abonos verdes.

Las exploraciones realizadas en este estudio con Farm Images sugieren que, dentro del escenario Convencional, es posible incrementar el IF del Predio 1 de aproximadamente 200 mil a 460 mil pesos por año, y a la vez reducir la erosión de 8 a 5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las posibilidades para el Predio 2 son mucho más limitadas, pudiendo pasar de 122 mil a 176 mil pesos por año, pero aceptando un leve incremento en la erosión que pasa de 4,5 a 5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, manteniéndose dentro de los límites tolerables (Figura 6).

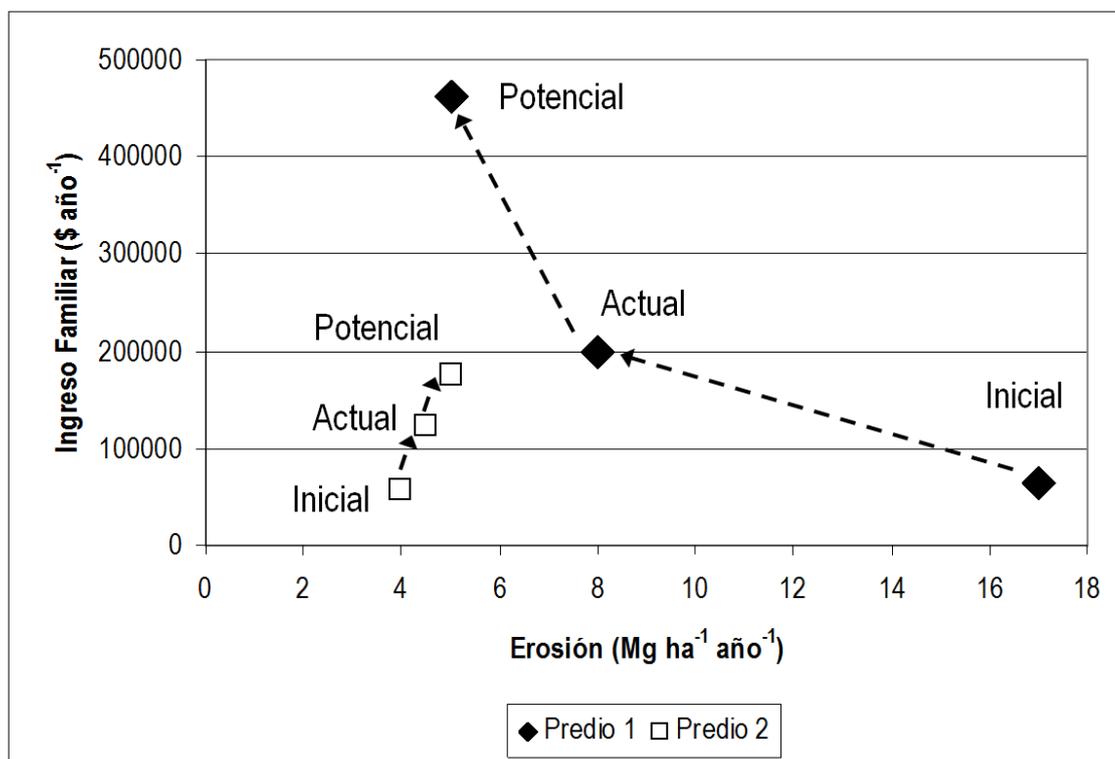


Figura 6: Evolución de Erosión e Ingreso Familiar en los predios seleccionados como estudio de caso. Inicial: se refiere a la situación original del sistema de producción, Actual: a los resultados 2009-2010 luego de la implementación de un plan de mejora (EULACIAS y FPTA 209), y Potencial: a resultados de las exploraciones con el modelo Farm IMAGES buscando minimizar la erosión con la condición que se supere el IF mínimo y no se reduzca el Ingreso Familiar actual, dentro del escenario Convencional.

3.5 EFECTO DEL TIPO DE GANADERÍA

El análisis del efecto del tipo de ganadería se realizó con el menor nivel de erosión posible siempre y cuando el IF superara el IF mínimo objetivo de cada predio. En el Predio 1 en ambos escenarios y en el Predio 2 escenario Convencional dicho nivel de erosión fue 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹, en el Predio 2 escenario Integrado fue 6,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

En todas las situaciones estudiadas cuando se maximizó el IF cambiando las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas el modelo incluyó a la ganadería, excepto cuando la alternativa fue MCH CC, donde el modelo diseñó un sistema de producción hortícola puro (Cuadro 16 y 17). La ganadería fue incluida incluso cuando no contribuye directamente al Ingreso Familiar obtenido, como es el caso de las vacas.

En ambos predios y escenarios el mayor IF se obtuvo cuando el modelo pudo elegir entre todas las actividades de producción ganaderas (TODAS), combinándolas en forma óptima (Cuadro 16 y 17). El cambio en la opción de producción animal elegida tuvo un efecto diferente según el predio considerado. En el Predio 1 tuvo poco efecto en el IF, siendo la mayor reducción observada del 9% para el escenario Convencional y del 15% en el escenario Integrado. En el Predio 2 tuvo un más efecto siendo la mayor reducción fue del 30% para el escenario Convencional y de 22% en el escenario Integrado. En ambos predios el mayor efecto sobre el IF se observa cuando el sistema de producción no incluye animales (MACHOS CC), donde la reducción fue para el Predio 1 17 y 27% y para el Predio 2 de 53 y 39% para los escenarios Convencional e Integrado respectivamente.

En ambos predios y escenarios existe un grupo de actividades de producción ganaderas conformado por MCH CL1, MCH CL2 y VAQ (GRUPO CL), para el cual el IF obtenido es similar al de TODAS con una reducción promedio de 2 y 4% en el Predio 1 y 2 respectivamente; sin embargo el CR para dicho grupo en el Predio 1 es 29 y 24% menor al de TODAS y en el Predio 2 es 26 y 21% menor, en los escenarios Convencional e Integrado respectivamente (Cuadro 16 y 17).

Dicho grupo obtuvo, en ambos predios y escenarios, una distribución de Ingresos (%IFH y %IFG), uso de mano de obra y productividad de la mano de obra familiar total similares al del sistema diseñado con TODAS.

Cuadro 16: Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 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 para los dos escenarios estudiados.

ACTIVIDADES GANADERAS ELEGIBLES	Ingreso Familiar (\$ año ⁻¹)	%IF Horti.	%IF Gan.	Capital requerido (\$ año ⁻¹)	Uso MOF Total (h año ⁻¹)	Uso MOF Horti. (h año ⁻¹)	Uso MOF Gan. (h año ⁻¹)	Uso MOC (h año ⁻¹)	Productividad MOF Total (\$ h ⁻¹)
Escenario Convencional									
TODAS	461511	94	6	421565	4484	3822	662	360	103
MCH CL1	457667	96	4	296105	4507	3869	638	360	102
MCH CL2	454745	96	4	293490	4507	3869	638	360	101
VAQ	450754	97	3	310782	4391	3874	517	360	103
V2	435529	100	0	466016	4293	3973	320	360	101
V1	415807	100	0	404527	3939	3596	343	360	106
MCH CC	380944	100	-	222253	3746	3746	-	360	102
Escenario Integrado									
TODAS	448788	94	6	402645	3237	2589	648	360	139
MCH CL1	441250	95	5	292801	3226	2583	643	360	137
MCH CL2	438375	96	4	304541	3226	2583	643	360	136
VAQ	434768	97	3	317916	3111	2590	521	360	140
V2	408522	100	0	470920	2926	2605	321	355	140
V1	382182	100	0	517201	2970	2568	402	360	129
MCH CC	329056	100	-	214946	2887	2887	-	360	114

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

BMO= Balance de Materia Orgánica MOF= Mano de obra familiar MOC= Mano de obra contratada

Productividad MOF Total= Ingreso Familiar/Usos MOF Total

Cuadro 17: Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 2 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 para el escenario Convencional y 6,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Integrado.

ACTIVIDADES GANADERAS ELEGIBLES	Ingreso Familiar (\$ año ⁻¹)	%IF Horti.	%IF Gan.	Capital requerido (\$ año ⁻¹)	Uso MOF Total (h año ⁻¹)	Uso MOF Horti. (h año ⁻¹)	Uso MOF Gan. (h año ⁻¹)	Uso MOC (h año ⁻¹)	Productividad MOF Total (\$ h ⁻¹)
Escenario Convencional									
TODAS	176237	85	15	301585	3005	2421	584	109	59
MCH CL1	170897	86	14	214755	2989	2409	580	120	57
MCH CL2	168339	87	13	224576	2989	2409	580	120	56
VAQ	164984	89	11	233838	2878	2420	458	109	57
V2	141782	99	1	352846	2701	2443	258	90	52
V1	123961	100	0	391229	2765	2427	338	105	45
MCH CC	83476	100	-	179795	2575	2575	-	90	32
Escenario Integrado									
TODAS	170828	89	11	263380	1980	1435	545	0	86
MCH CL1	166875	90	10	209425	1976	1435	541	0	84
MCH CL2	165662	91	9	201876	1976	1435	541	0	84
VAQ	162757	92	8	212201	1854	1435	419	0	88
V2	145904	100	0	296155	1654	1435	219	0	88
V1	133843	100	0	322520	1734	1435	299	0	77
MCH CC	104996	100	-	176119	1527	1527	-	0	69

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
BMO= Balance de Materia Orgánica MOF= Mano de obra familiar MOC= Mano de obra contratada
Productividad MOF Total= Ingreso Familiar/Uso MOF Total

Cuando la actividad ganadera elegida fue el engorde de vacas, el IF obtenido en el Predio 1 disminuyó en 6,6 (V2) y 10% (V1), y 9 (V2) y 14,8% (V1) respecto a TODAS en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente. Además el CR para V2 aumentó en 10,5 y 17% respecto a TODAS en el escenario Convencional e Integrado, respectivamente (Cuadro 16). En el Predio 2 el IF obtenido con engorde de vacas disminuye en promedio 25 y 18% respecto a TODAS, mientras que el CR aumenta 23 y 17% para en el escenario Convencional e Integrado respectivamente (Cuadro 17). El diseño de sistemas en base a las opciones de engorde de vacas no generó una actividad de producción ganadera rentable en

sí misma, reflejado por su escasísima o nula participación en el IF. El uso de mano de obra total de dichos sistemas de producción es menor a los diseñados con TODAS, debido fundamentalmente a un menor uso de mano de obra en ganadería. La productividad de la mano de obra familiar total fue mayor en el escenario Integrado que en el Convencional, para todas las opciones ganaderas.

La producción de carne total disminuyó respecto al diseño con TODAS (Cuadro 18 y 19), en ambos predios y escenarios. En el Predio 1 disminuyó 13% promedio con las opciones del GRUPO CL y 32% promedio con las vacas; mientras que en el Predio 2 dicha disminución fue 12% promedio con las opciones del GRUPO CL y 34 % promedio con las vacas. En el caso del Predio 1 escenario Convencional, la disminución en la producción de carne total fue acompañada por una disminución leve en el área ganadera promedio anual.

El uso de concentrados disminuyó entre 33 y 35% en el diseño con el GRUPO CL respecto al diseño con TODAS en el Predio 1 y entre un 23 y un 31% en el Predio 2, en promedio para ambos escenarios (Cuadro 18 y 19). En el diseño con vacas el uso de concentrados aumentó en el Predio 1 51 y 64% con V2 y V1, respectivamente. En el Predio 2 aumentó 47% y 49% promedio con V2 y V1, respectivamente. Correlativamente el costo de concentrados disminuyó en los diseños con el GRUPO CL y aumentó en los diseños con vacas, en relación al diseño con TODAS. Debido a restricciones impuestas en el modelo, el suministro de concentrados nunca supera el 1 % del peso vivo. En las actividades del GRUPO CL la suplementación se incluyó fundamentalmente en los meses de invierno (junio-julio-agosto), en el caso de las vacas la suplementación se incluyó durante todo el ciclo de engorde.

Cuadro 18: Caracterización de la actividad ganadera en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas. El nivel máximo de erosión permitido para el promedio del área cultivada fue 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para los dos escenarios estudiados.

ACTIVIDADES GANADERAS ELEGIBLES	Actividad Ganadera	Producción de carne (kg año ⁻¹)	Area Gan. Promedio (ha año ⁻¹)	Carga Promedio (kg PV ha ⁻¹ año ⁻¹)	Producción de carne (kg ha ⁻¹)	Uso de concentrados (kg ha ⁻¹)	Costo reposición (\$ año ⁻¹)	Costo concentrado (\$ año ⁻¹)
Escenario Convencional								
TODAS	17 V2 + 11 VAQ	4692	10,0	605	469	642	158124	28922
MCH CL1	11 MCH CL1	3652	9,1	585	403	387	51568	16076
MCH CL2	10 MCH CL2	3350	9,1	578	369	307	51570	12755
VAQ	15 VAQ	4080	9,1	578	449	518	55275	21299
V2	28 V2	2800	9,2	392	303	711	193676	30104
V1	20 V1	2200	6,5	506	339	1398	138940	39244
MCH CC	NO	-	-	-	-	-	-	-
Escenario Integrado								
TODAS	15 V2 + 11 VAQ	4492	9,3	622	482	723	137373	30418
MCH CL1	11 MCH CL1	3652	9,3	569	392	318	51568	13557
MCH CL2	11 MCH CL2	3685	9,3	620	396	500	56727	21306
VAQ	16 VAQ	4352	9,3	601	467	637	58960	26662
V2	29 V2	2900	9,3	403	311	771	200593	32857
V1	29 V1	3190	9,3	511	342	1414	201463	57182
MCH CC	NO	-	-	-	-	-	-	-

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

El costo de reposición disminuyó entre 59 y 67% en el diseño en base al GRUPO CL respecto al diseño con TODAS en el Predio 1 y en el Predio 2 entre 59 y 62%. En el caso del diseño con vacas el costo de reposición aumenta excepto con V1 en el Predio 1 escenario Convencional. En el Predio 2 dicho aumento fue entre 31 y 37% (Cuadro 18 y 19).

Cuadro 19: Caracterización de la actividad ganadera en los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 2 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se cambian las actividades ganaderas pasibles de ser elegidas. El nivel máximo de erosión permitido para el promedio del área cultivada fue 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Convencional y 6,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Integrado.

ACTIVIDADES GANADERAS ELEGIBLES	Actividad Ganadera	Producción de carne (kg año ⁻¹)	Área Gan. Promedio (ha año ⁻¹)	Carga Promedio (kg PV ha ⁻¹ año ⁻¹)	Producción de carne (kg ha ⁻¹)	Uso de concentrados (kg ha ⁻¹)	Costo reposición (\$ año ⁻¹)	Costo concentrado (\$ año ⁻¹)
Escenario Convencional								
TODAS	12 V2 + 9 VAQ	3648	6,3	750	582	874	116169	24670
MCH CL1	9 MCH CL1	2988	6,3	692	477	404	42192	11615
MCH CL2	9 MCH CL2	3015	6,3	753	481	629	46413	18054
VAQ	13 VAQ	3536	6,3	725	564	776	47905	21713
V2	23 V2	2300	6,3	475	367	897	159091	25675
V1	23 V1	2530	6,3	603	404	1666	159781	45334
MCH CC	NO	-	-	-	-	-	-	-
Escenario Integrado								
TODAS	9 V2 + 6 VAQ	2532	4,4	742	575	846	84363	16731
MCH CL1	7 MCH CL1	2324	4,4	767	528	773	32816	15572
MCH CL2	6 MCH CL2	2010	4,4	715	457	449	30942	9050
VAQ	9 VAQ	2448	4,4	715	556	726	33165	14275
V2	16 V2	1600	4,4	471	364	875	110672	17638
V1	16 V1	1760	4,4	597	400	1646	111152	31405
MCH CC	NO	-	-	-	-	-	-	-

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

3.6 ANALISIS 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 +/- 10% de los precios utilizados como base para este trabajo (Cuadro 20 y 21). Para ambos predios y escenarios los sistemas de producción incluyen la ganadería y en la mayoría de los casos la estrategia que maximizó el IF fue la combinación de V2 y VAQ.

Cuadro 20: Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 1 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, para los dos escenarios estudiados.

	\$ ganado* 0,9	\$ ganado* 1	\$ ganado* 1,1	
Escenario Convencional				
Ingreso Familiar (\$)	446662	458832	473157	\$ grano*1,1
	449215	461511	476403	\$ grano*1
	451768	467793	491359	\$ grano*0,9
Actividad ganadera	15 V2 + 10 VAQ	15 V2 + 10 VAQ	19 V2 + 12 VAQ	\$ grano*1,1
	15 V2 + 10 VAQ	17 V2 + 11 VAQ	20 V2 + 12 VAQ	\$ grano*1
	15 V2 + 10 VAQ	17 V1 + 27 V2	20 V1 + 78 V2	\$ grano*0,9
Producción de carne (kg)	4220	4220	5164	\$ grano*1,1
	4220	4692	5264	\$ grano*1
	4220	4570	10000	\$ grano*0,9
Uso de concentrados (kg)	5664	5664	7208	\$ grano*1,1
	5664	6420	7807	\$ grano*1
	5664	13908	47687	\$ grano*0,9
Uso del suelo (ha)	9,04 RF + 3,47 RH	9,04 RF + 3,48 RH	10,97 RF + 3,44 RH	\$ grano*1,1
	9,04 RF + 3,48 RH	10 RF + 3,46 RH	11,06 RF + 3,44 RH	\$ grano*1
	9,04 RF + 3,48 RH	9,17 RF + 3,53 RH	11 RF + 3,5 RH	\$ grano*0,9
Escenario Integrado				
Ingreso Familiar (\$)	433553	445858	458688	\$ grano*1,1
	436050	448788	461873	\$ grano*1
	438962	452066	470531	\$ grano*0,9
Actividad ganadera	16 V2 + 10 VAQ	14 V2 + 11 VAQ	17 V2 + 10 VAQ	\$ grano*1,1
	14 V2 + 11 VAQ	15 V2 + 11 VAQ	16 V2 + 11 VAQ	\$ grano*1
	15 V2 + 11 VAQ	15 V2 + 12 VAQ	63 V2 + 7 VAQ	\$ grano*0,9
Producción de carne (kg)	4320	4392	4420	\$ grano*1,1
	4392	4492	4592	\$ grano*1
	4492	4764	8204	\$ grano*0,9
Uso de concentrados (kg)	5858	6001	6572	\$ grano*1,1
	6001	6734	4592	\$ grano*1
	6734	7109	35235	\$ grano*0,9
Uso del suelo (ha)	9,31 RF + 5,19 RH	9,31 RF + 5,19 RH	9,31 RF + 5,19 RH	\$ grano*1,1
	9,31 RF + 5,19 RH	9,31 RF + 5,19 RH	9,31 RF + 5,19 RH	\$ grano*1
	9,31 RF + 5,19 RH	9,31 RF + 5,19 RH	9,31 RF + 5,19 RH	\$ grano*0,9

V2: Engorde de vacas opción 2 VAQ: Engorde de vaquillonas V1: Engorde de vacas opción 1
RF: Rotación forrajera RH: Rotación hortícola

Cuadro 21: Principales resultados de los sistemas de producción diseñados por el Farm IMAGES para el Predio 2 cuando se maximiza el Ingreso Familiar y se modifica el precio del ganado y de los granos, con un nivel máximo de erosión tolerado para el promedio del área cultivada de 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Convencional y 6,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para el escenario Integrado.

	\$ ganado* 0,9	\$ ganado* 1	\$ ganado* 1,1	
Escenario Convencional				
Ingreso Familiar (\$)	163792	173880	184212	\$ grano*1,1
	165932	176237	186949	\$ grano*1
	168270	178846	195591	\$ grano*0,9
Actividad ganadera	11 V2 + 9 VAQ	11 V2 + 9 VAQ	12 V2 + 9 VAQ	\$ grano*1,1
	11 V2 + 9 VAQ	12 V2 + 9 VAQ	14 V2 + 10 VAQ	\$ grano*1
	12 V2 + 9 VAQ	12 V2 + 10 VAQ	49 V2 + 14 VAQ	\$ grano*0,9
Producción de carne (kg)	3548	3548	3648	\$ grano*1,1
	3548	3648	4120	\$ grano*1
	3648	3920	8708	\$ grano*0,9
Uso de concentrados (kg)	4745	4745	5477	\$ grano*1,1
	4745	5477	7136	\$ grano*1
	5577	7300	31829	\$ grano*0,9
Uso del suelo (ha)	6,27 RF + 3,73 RH	6,27 RF + 3,73 RH	6,27 RF + 3,73 RH	\$ grano*1,1
	6,27 RF + 3,73 RH	6,27 RF + 3,73 RH	6,28 RF + 0,75 RHF + 2,97 RH	\$ grano*1
	6,27 RF + 3,73 RH	6,27 RF + 3,73 RH	6,33 RF + 3,67 RH	\$ grano*0,9
Escenario Integrado				
Ingreso Familiar (\$)	162193	169155	176463	\$ grano*1,1
	163526	170828	178136	\$ grano*1
	165198	172500	183036	\$ grano*0,9
Actividad ganadera	7 V2 + 1 MCH CL1 + 5 VAQ	9 V2 + 6 VAQ	9 V2 + 6 VAQ	\$ grano*1,1
	9 V2 + 6 VAQ	9 V2 + 6 VAQ	9 V2 + 6 VAQ	\$ grano*1
	9 V2 + 6 VAQ	9 V2 + 6 VAQ	1 V1 + 30 V2 + 5 VAQ	\$ grano*0,9
Producción de carne (kg)	2392	2532	2532	\$ grano*1,1
	2532	2532	2532	\$ grano*1
	2532	2532	4470	\$ grano*0,9
Uso de concentrados (kg)	2862	3723	3723	\$ grano*1,1
	3723	3723	3723	\$ grano*1
	3723	3723	17969	\$ grano*0,9
Uso del suelo (ha)	4,4 RF + 5,6 RH	4,4 RF + 5,6 RH	4,4 RF + 5,6 RH	\$ grano*1,1
	4,4 RF + 5,6 RH	4,4 RF + 5,6 RH	4,4 RF + 5,6 RH	\$ grano*1
	4,4 RF + 5,6 RH	4,4 RF + 5,6 RH	4,4 RF + 5,6 RH	\$ grano*0,9

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

En ambos predios y escenarios estudiados, tanto el aumento en el precio del ganado como la disminución en el precio del grano provocó un aumento en el IF, en el número de animales, en la producción de carne del sistema y en el uso de concentrados (Cuadro 20 y 21). La disminución en el precio del ganado en un 10% sumado al aumento del precio del grano en un 10% (la peor situación estudiada), resultó en una disminución de 5% en el IF, de 6% en la producción de carne y de 15% en el uso de concentrados, en promedio para ambos predios y escenarios. El aumento en el precio del ganado en un 10% sumado a la disminución en el precio del grano de un 10% (mejor situación estudiada), provocaron un aumento de 8% en el IF, de 103% en la producción de carne y de 523% en el uso de concentrados, en promedio para ambos predios y escenarios.

Para el Predio 1 escenario Convencional, la peor combinación de precios de ganado y de grano resultó en una reducción de 7% en el área del predio utilizada y de 10% en el área destinada a la rotación forrajera; mientras que la mejor combinación de precios implicó un aumento de 8% en el área del predio utilizada, llegando a utilizar toda el área disponible y de 10% en el área destinada a la rotación forrajera (Cuadro 20 y 21). Para este predio en el escenario Integrado y para el Predio 2 en ambos escenarios los cambios de precios no afectaron significativamente el uso del suelo y en todos los casos estudiados se utilizó toda el área disponible.

En las situaciones extremas estudiadas (peor y mejor situación) y cuando se trabajó con cada una de las opciones ganaderas individualmente como opción elegible, para ambos predios y escenarios estudiados el modelo diseñó sistemas combinados que incluyen horticultura y ganadería, salvo cuando la opción elegible fue MCH CC donde diseñó un sistema hortícola puro. Por lo tanto, no hubo efecto significativo de los cambios de precios de ganado y granos (+/- 10%) en el efecto de la ganadería en las soluciones óptimas propuestas por el modelo para ambos predios y escenarios.

4 DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio exploratorio con modelos de simulación sugieren que existen oportunidades para el diseño de sistemas de producción sostenibles, dentro de los límites de la disponibilidad de recursos actuales de los predios y de las condiciones de precios de los últimos años. De acuerdo a los resultados obtenidos, sería técnicamente posible generar un IF mayor o igual al ingreso promedio de zonas rurales, manteniendo la erosión promedio del área cultivada por debajo del nivel máximo de erosión tolerado acorde al tipo de suelo y con un BMO positivo. La clave para lograr este objetivo sería la inclusión de la ganadería en los de sistemas de producción hortícolas, diseñando sistemas mixtos hortícola-ganaderos.

4.1 OPORTUNIDADES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLES

En este trabajo procuramos identificar estrategias para mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción hortícola de Canelones. Considerando resultados de estudios anteriores (Dogliotti *et al.*, 2005) se puso el foco en el impacto de la inclusión de la ganadería en los sistemas de producción y en cómo afecta los resultados y la estructura del sistema, el tipo de producción ganadera que se incluya en el mismo.

El factor clave que permitiría reducir la erosión promedio del área cultivada con las técnicas disponibles de manejo de suelos en horticultura, es la inclusión de la ganadería en los sistemas de producción. Al reducir el nivel de erosión admitido, en ambos predios y escenarios el modelo diseñó sistemas con cada vez menos área de hortalizas, incluyendo la rotación exclusivamente forrajera en áreas cada vez mayores por debajo de $7,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Como consecuencia de esto, también se redujo el IF entre 12% a 99,6% según el caso estudiado. Sin embargo, pudimos diseñar sistemas de producción con erosión menor a la tolerable para el tipo de suelo, IF mayor al objetivo y BMO positivo en tres de las cuatro combinaciones de predio x escenario. Varios autores han propuesto la combinación de producción de cultivos y animales como forma de mejorar la productividad, eficiencia de uso de los recursos y sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción. Esta estrategia de

diseño 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).

Con las actividades incluidas en este estudio, la disponibilidad de recursos actual y las condiciones de contexto socio-económico estimadas para el escenario Integrado, no es posible reducir la erosión promedio en el Predio 2 por debajo de $6,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y alcanzar el IF mínimo. A similar nivel de erosión promedio en el Predio 2 se podría obtener un IF de 50 a 60% y de 42 a 75% inferior que en el Predio 1 en los escenarios Convencional e Integrado, respectivamente (Cuadros 8 y 9). Esto está explicado por la diferencia en disponibilidad de recursos productivos respecto al Predio 1, particularmente no disponer de riego para la horticultura, menor superficie utilizable y suelos de mejor calidad pero de mayor pendiente promedio. Teniendo en cuenta que el área regada en el Predio 1 es de solo 1 ha, el impacto de este recurso en la productividad y confiabilidad de este tipo de sistemas prediales con áreas reducidas y alta disponibilidad de mano de obra por unidad de superficie es muy alto.

El bajo IF obtenido en el Predio 2 escenario Integrado cuando el modelo diseña un sistema ganadero puro se debe a que los costos fijos se diluyen con el margen generado únicamente por esta actividad.

Considerando la situación inicial de estos predios y la situación actual, al final de los proyectos EULACIAS y FPTA 209, vemos que la estrategia general de rediseño ha permitido mejoras importantes en los resultados de ambos (Figura 6). Los resultados de este estudio sugieren que es posible seguir reduciendo la erosión (Predio 1) o manteniéndola por debajo del nivel crítico (Predio 2) e incrementar el IF. Sin embargo, como hemos presentado, las posibilidades de continuar mejorando son diferentes en ambos casos.

La erosión mínima estimada para las rotaciones hortícolas y hortícola-forrajeras fue de más de $7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 4), mientras que la rotación forrajera tuvo una erosión estimada de $2,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Esto constituye una limitante para mejorar la sostenibilidad de este tipo de predios y para explotar la interacción positiva entre la producción hortícola y la ganadera. Al bajar el nivel de erosión admitida, el modelo propone sistemas con mayor importancia de la rotación forrajera, combinada con áreas decrecientes de una rotación hortícola, que no contribuye a la producción animal, por lo que el sistema pierde en parte la interacción positiva vía calidad física, química y biológica del suelo entre ambos rubros. Esto

puede deberse a la inflexibilidad en el diseño de las rotaciones con horticultura a las que se les impuso una fase de pasturas de largo equivalente a la fase de cultivos hortícolas, para respetar la tendencia de los productores a localizar la horticultura en áreas del predio cercanas a la casa y a la infraestructura de riego. Una mayor proporción de la fase de pasturas en las rotaciones hortícola-forrajeras permitiría rotaciones con menor erosión y mayor producción de forraje que las actuales y aumentaría el margen bruto respecto a la rotación forrajera.

Otra estrategia posible para mejorar el 'trade off' entre conservación de suelo e IF sería introducir nuevas tecnologías de manejo de suelo en horticultura que permitieran bajar la erosión manteniendo los rendimientos, como las prácticas de mínimo laboreo (Scopel *et al.*, 2004; Adekalu *et al.*, 2007), que no fueron consideradas en este estudio por estar en nuestro país aún en fase experimental (Arbolea y Gilzans, 2006).

En todos los casos en que el modelo incluyó la ganadería, la misma implicó altos niveles de intensificación y productividad. Baldi *et al.* (2008) en una revisión sobre suplementación con concentrados energéticos en pasturas sembradas (praderas y verdesos) presentaron niveles de productividad comparables a los que el modelo incluye en todos los casos estudiados. Cardozo *et al.* (2008) obtuvieron niveles de productividad similares a los que el modelo incluye en el caso del Predio 1 escenario Convencional, en validaciones a nivel de predios hortícola-ganaderos, luego de un proceso de mejora gradual del sistema de producción realizado con apoyo técnico donde se implementó el engorde de novillos y vaquillonas similares a las alternativas del GRUPO CL. En dicho trabajo se incluyen validaciones realizadas en el estudio de caso del Predio 2.

El mayor nivel de intensificación y productividad de la ganadería en el Predio 2 respecto al Predio 1 está explicado por la mejor calidad de suelo del mismo, lo que determina una mayor producción de forraje. Sin embargo el tipo de actividad productiva seleccionada no fue diferente entre los estudios de caso.

Los resultados de este trabajo sugieren que el cambio de contexto en el sector hortícola desde el escenario Convencional al escenario Integrado sería favorable debido a que en general se aumenta el IF. Sin embargo para los niveles de erosión tolerables para el tipo de suelos existentes en los estudios de caso, el IF obtenido en el escenario Convencional es superior al escenario Integrado lo que plantea la necesidad de generar líneas de

investigación sobre técnicas de manejo de suelos en los cultivos hortícolas del escenario Integrado que permitan reducir la erosión y así capitalizar el mayor IF obtenido con este escenario.

4.2 EFECTO DEL TIPO DE GANADERÍA

La actividad ganadera que maximiza el IF, con niveles de erosión dentro del límite tolerable o muy cercano a él y con BMO positivo, fue la combinación de las opciones de engorde de V2 y VAQ en todos los casos estudiados. Sin embargo hemos presentado resultados que sugieren que la forma más apropiada de incluir la ganadería en los sistemas de producción familiar hortícola-ganaderos de Canelones es mediante el engorde de MCH CL1, MCH CL2 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 CR para la reposición de animales que va de 59% a 69%. Además este grupo de alternativas productivas tiene menor uso de concentrados, con una reducción de entre 23 y 35% respecto a la combinación de actividades que maximiza el IF, lo que implica una reducción del costo de concentrados, pero sin perder el efecto positivo de la suplementación en el sentido de optimizar el manejo de las pasturas y amortiguar el efecto de cambios climáticos (Soca *et al.*, 2007). Estas cualidades de las actividades del GRUPO CL son muy atractivas para productores familiares que en general tienen restricciones de capital, que necesitan disminuir su dependencia de insumos externos y que no pueden tomar riesgos importantes, contribuyendo por lo tanto a la sostenibilidad del sistema. Por otro lado, 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.

Los resultados obtenidos sugieren que para la incorporación de actividades de producción ganadera en sistemas hortícolas hay una eficiencia mínima requerida. En este trabajo la opción MCH CC nunca fue incluida en las soluciones, lo que coincide con que es la actividad que tiene menor productividad de la mano de obra y menor productividad de la energía metabolizable.

4.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

La estrategia general de diseño y el tipo de actividades ganaderas seleccionadas para obtener sistemas sostenibles no fue afectada por variaciones en el precio del ganado ni del grano dentro del rango +/- 10% de los precios utilizados como base para este trabajo. Este resultado otorga confiabilidad a las conclusiones de este estudio respecto al tipo de actividades de producción ganadera más atractivas para este tipo de predios y al efecto positivo de la ganadería en la sostenibilidad del sistema de producción. También les da validez a los resultados en el contexto actual en el cual el precio del ganado es en promedio un 5 % superior y el precio del grano es en promedio un 10% superior, a los precios utilizados como base en este estudio.

4.4 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 contrapartida tienen 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) 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).

4.5 CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La forma de cuantificación de la mano de obra utilizada en ganadería influyó en la definición del sistema de producción a escala de predio ya que si el número de animales es bajo, el alto uso de mano de obra puede ir en contra de la combinación de alternativas productivas. Sin embargo, esto no afecta las recomendaciones finales ya que en base a los resultados obtenidos se proponen las alternativas de engorde del GRUPO CL, utilizando una sola actividad productiva.

Asimismo, existe una influencia directa de dicha forma de cuantificación en el cálculo de la productividad de mano de obra de la ganadería y en predios de baja escala donde el sistema de producción admite pocos animales, como los casos estudiados en este trabajo, esta forma de cuantificación no permite estimar con precisión este indicador. Siendo la productividad de la mano de obra un factor clave para el diseño de sistemas de producción de tipo familiar, la estimación precisa de la mano de obra ganadera en sistemas de producción reales y la cuantificación de la misma por cabeza animal, contribuirá a mejorar la precisión de este tipo de análisis.

La metodología presentada demostró ser muy efectiva para explorar opciones de diseño de sistemas mixtos que combinen ganadería vacuna y horticultura. A partir de esto resulta interesante adaptar y mejorar los modelos utilizados a fin de que permitan incorporar al análisis las oportunidades de diseño de sistemas mixtos considerando otro tipo de rubros, a modo de ejemplo el engorde de corderos o la inclusión de cerdos en el sistema de producción.

5 CONCLUSIONES

*La inclusión de la ganadería en los sistemas de producción hortícolas familiares es la clave para lograr sistemas de producción sostenibles con un ingreso familiar mayor o igual al ingreso promedio de zonas rurales, con un nivel de erosión promedio del área cultivada por debajo del nivel máximo tolerable y con un balance de la materia orgánica del suelo positivo, dentro de los límites de la disponibilidad de recursos actuales de los predios y de las condiciones de precios de los últimos años. Para lograr reducir el nivel de erosión hasta el máximo tolerable, en ambos predios el modelo diseñó sistemas con cada vez menor área de hortalizas e incluyó la rotación forrajera en áreas cada vez mayores.

*En ambos predios y escenarios estudiados, el mayor ingreso familiar se obtuvo a costa de aceptar un nivel de erosión muy superior al máximo tolerable. Sin embargo si consideramos los niveles de ingreso familiar y erosión actuales de los predios estudiados, la implementación de la estrategia de re-diseño propuesta permitiría reducir la erosión (Predio 1) o mantenerla por debajo del nivel crítico (Predio 2) e incrementar el ingreso familiar.

*La forma más apropiada de incluir la ganadería en los sistemas de producción familiar hortícolas de Canelones sería mediante el engorde de MCH CL1, MCH CL2 o VAQ, debido a que si bien no son la opción que maximiza el ingreso familiar, la reducción en el ingreso es mínima frente a la reducción en el costo de reposición de animales y al menor uso 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 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.
- Albín A, Aguerre V, Dogliotti S, Pombo C, Contini C, Omodei-Zorini L. 2009. Preparándonos para el Futuro: Posibles Alternativas para el Sector Hortícola. Montevideo: Revista INIA, 18: 45-48.
- Arboleya J y Gilsanz JC. 2006. Mínimo laboreo en la producción hortícola. Montevideo: Revista INIA Uruguay, 6:22-26.
- 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 y 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).
- Cayssials R, Liesegang JE y Piñeyrúa J. 1978. Panorama de la erosión y conservación de suelos en el Uruguay. Boletín Técnico; (4) 27p.
- Deambrosi E, Montossi F, Saravia H, Blanco P, Ayala W. (eds) 2009. 10 años de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería. Montevideo: INIA. 208p. (Serie Técnica; 180).
- De Wit CT, Van Keulen H, Seligman NG, Spharim I. 1988. Application of Interactive Multiple Goal Programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. *Agricultural Systems*, 26: 211–230.

- 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. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- 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 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 hortícola-ganaderos familiares: Una experiencia de co-innovación. Montevideo: INIA. 112p. (Serie FPTA ; 33).
- Dogliotti S, van Ittersum M, Rossing WAH. 2006. Influence of farm resource endowment on possibilities for sustainable development: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Journal of Environmental Management*, 78: 305–315.
- 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.
- Dorè T, Makowski E, Munier-Jolain N, Tchamitchian M, Tittone P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *Europ. J. Agronomy*, 34: 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 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.

- Grau M, Alvarez J, Molina C. 2011 (No publicado). Caracterización y evolución reciente de la ganadería en el departamento de Canelones. Facultad de Agronomía. Centro Regional Sur. En base a DICOSE disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/DGSG/DICOSE/dicose.htm> , octubre 2011.
- GIPROCAR II. 2009 (No publicado). Proyecto INIA-FUCREA-GIPROCAR II. Coeficientes técnicos a utilizar en modelos de decisión agrícola-ganadera.
- Hengsdijk H, van Ittersum MK. 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 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.
- INE. 2009. [En línea]. Consultado julio 2009. Disponible en: <http://www.ine.gub.uy>.
- Kiers ET, Leakey RRB, Izac AM, Heinemann JA, Rosenthal E, Nathan D, Jiggins J. 2008. Agriculture at a Crossroads. *Science*, 320: 320-321.
- Koning NBJ, van Ittersum MK, Becx GA, van Boekel MAJS, Brandenburg WA, van Den Broek JA, Goudriaan J, van Hofwegen G, Jongeneel RA, Schiere JB, Smies M. 2008. Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity? *NJAS* 55-3, 229-292.
- 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. (eds) 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.
- Puentes R y 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 de Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: United States Departament of Agri- culture. 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 conditons. *Agronomie*, 24: 383-395.
- Soca PM, Cabrera MR, Bruni MA, Scopel E, Da Silva FAM, Corbeels M. 2007. Nivel de suplementación, ganancia de peso vivo y conducta de vacunos en crecimiento bajo pastoreo de campo natural. *Agrociencia (Uruguay)*, 11 (1): 1-10.

- Sterk B, van Ittersum MK, Leeuwis C. 2011. How, when, and for what reasons does land use modelling contribute to societal problem solving? *Environmental Modelling & Software*, 26: 310-316.
- 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.
- Tommasino H y 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 GWJ, de Ridder N, van Keulen H, van Ittersum MK. 2003. Concepts in production ecology for analysis and design of animal and plan-animal production systems. *Agricultural Systems*, 76: 507-525.
- van Ittersum MK. 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 MK, Rabbinge R, van Latesteijn HC. 1998. Exploratory land use studies and their role in strategic policy making. *Agricultural Systems*, 58: 309-330.
- van Ittersum MK y Rabbinge R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52: 197-208.

7 ANEXO

7.1 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Calculation of energy requirements

Maintenance

$$EBW = 0,891 * SBW$$

$$NEm = 0,077 \text{ Mcal} / EBW^{0,75}$$

$$NEmgra = 20\% NEm$$

$$NEm \text{ total} = NEm + NEmgra$$

EBW: Empty body weight, kg.

SBW: Shrunk body weight, kg.

NEm: Net energy required for maintenance, Mcal/d.

NEmgra: energy required for grazing expressed as a percentage of NEm (include movement and grazing cost), Mcal/d.

NEm total: Net energy required for maintenance total, Mcal/d.

Growth

$$EBG = 0,956 * SWG$$

$$NEg = 0,0635 * EBW^{0,75} * EBG^{1,097}$$

EBG: Empty body gain, kg.

SWG: Shrunk weight gain, kg.

NEg: Net energy required for gain, Mcal/d.

Metabolizable Energy

$$\text{ME total (Mcal/día)} = \frac{\text{NE}_{\text{m total}}}{K_{\text{m}}} + \frac{\text{NE}_{\text{g}}}{K_{\text{f}}}$$

$$K_{\text{m}} = 0,63$$

$$K_{\text{f}} = 0,38$$

Calculation of maximum Dry matter intake

$$\text{Maximum DMI} = (\text{SBW}^{0,75} * (0,1493 * \text{NE}_{\text{mDMI}} - 0,046 * \text{NE}_{\text{mDMI}}^2 - 0,0196)) * 1,2$$

Maximum DMI: Maximum Dry matter intake, kg DM.

NE_{mDMI} : Net Energy maintenance of the diet to estimate maximum DMI, Mcal/kg DM.

$\text{NE}_{\text{mDMI}} = 1.45$ Mcal/kg DM.

Calculation for the supply of energy

The energy supply depends on the diet provided to the animal (that will be selecting by the linear program).

i being the number of different feeds provided to the animal:

$$\text{ME supply} = \sum_i \text{quantity} * \text{ME}_i$$

Quantity_i: amount of a feed i given to the animal, kg of DM.

ME_i : ME value of feed i , Mcal/kgDM.

7.2 ARTÍCULO PRESENTADO EN AGROCIENCIA URUGUAY

EXPLORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA-GANADEROS FAMILIARES EN EL SUR DE URUGUAY

Verónica Aguerre¹, Pablo Chilibroste², Marion Casagrande³, Santiago Dogliotti⁴

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

² Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Mario Casinoni, Ruta 3 km 363, Paysandú, Uruguay.

³ Farming Systems Ecology group, Universidad de Wageningen, Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB, Wageningen, Holanda.

⁴ Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Centro Regional Sur, Con. Folle s/n, Joanicó, Uruguay.