

## **Asociación Argentina de Economía Agraria**

# **OPTIMIZACION EN EMPRESAS LECHERAS MIXTAS EVALUANDO DISTINTOS NIVELES DE INTENSIFICACIÓN Y REPOSICIÓN DE NUTRIENTES<sup>1</sup>**

**Agosto, 2008**

**Ana María Cursack**  
acursack@fca.unl.edu.ar<sup>2</sup>

**Horacio Castignani**  
hcastignani@rafaela.inta.gov.ar<sup>3</sup>

**María Isabel Castignani**  
mcastign@fca.unl.edu.ar<sup>4</sup>

**Oscar Osan**  
oosan@fca.unl.edu.ar<sup>5</sup>

**Marta Suero**  
msuero@fca.unl.edu.ar<sup>6</sup>

**María Cecilia Brizi**  
cbrizi@fca.unl.edu.ar<sup>7</sup>

---

<sup>1</sup> En marco de los Proyectos CAI+D PI N° 034/223 y 034/224, PICTO UNL N° 36055, y AEES 1732 de INTA.

<sup>2</sup> Profesora Titular Economía y Administración de Organizaciones. Facultad Cs. Agrarias. U.N. del Litoral

<sup>3</sup> Técnico de INTA, EEA Rafaela, pasante graduado FCA. UNL.

<sup>4</sup> Profesora Adjunta. Economía, Mercadeo y Administración de Organizaciones. FCA. UNL

<sup>5</sup> Jefe de Trabajos Prácticos. Economía, Mercadeo y Administración de Organizaciones. FCA. UNL

<sup>6</sup> Jefe de Trabajos Prácticos. Economía, Mercadeo y Administración de Organizaciones. FCA. UNL

<sup>7</sup> Ayudante de Cátedra, Economía, Mercadeo y Administración de Organizaciones. FCA. UNL

# **OPTIMIZACION EN EMPRESAS LECHERAS MIXTAS EVALUANDO DISTINTOS NIVELES DE INTENSIFICACIÓN Y REPOSICIÓN DE NUTRIENTES**

## **RESUMEN**

El comportamiento cíclico de los precios de la leche y la competencia con la agricultura resumen gran parte de los factores que inducen adaptaciones continuas en los sistemas lecheros argentinos, muchas veces a destiempo y con resultados poco satisfactorios. En la Cuenca Central Santafesina, el avance de la agricultura impuso un nuevo patrón geográfico de producción cuya evolución se define en las decisiones de los empresarios y en las políticas sectoriales. Para entender la relación entre la producción agropecuaria y las políticas sectoriales deben analizarse las posibilidades de los productores de adaptar sus sistemas según los cambios de contexto. El objetivo propuesto es modelizar, con criterios de optimización, los sistemas del área en estudio para analizar el impacto de cambios tecnológicos e institucionales sobre los resultados económicos. Se comprueba la competitividad relativa del tambo, el impacto positivo de la aplicación de tecnología disponible y probada que incrementa la producción, la productividad y los resultados económicos. El margen bruto aumenta con los ajustes en la tecnología de producción; cuando se incluyen los costos de mitigación de las actividades agrícolas y forrajeras, relacionados a dos de los nutrientes principales (N, P), disminuye un 2 % la función objetivo.

**PALABRAS CLAVES:** programación lineal, sistemas de producción mixtos, cambios tecnológicos, costos mitigación, Cuenca Central Argentina

## **SUMMARY**

Most factors determining continuous milk production models adaptations in Argentina may be summarized through prices cyclic behavior and competence with agriculture. Those adaptations are occurring usually out of time and, therefore, the results are far from satisfactory. Central Santa Fe is not an exception, since the enlargement of the cropping area has determined a new geographic production pattern, its evolution being defined by farmer's decisions and agricultural policies. The possibilities of adapting farm systems to farmer's objectives and exogenous changes should be analyzed, in order to understand the relationship between agricultural production and sectorial policies. The purpose of this paper is to model the productive systems in the study area, on the basis of optimization criteria, so as to analyze the impacts of technological and institutional changes on the economic results of the farms. Relative competitiveness of milk production is proved, and improved technology increases production, productivity and economic results of the farms. The gross margin increases when technology in milk production is improved; if mitigation costs of agriculture and forages are included, particularly those related with N and P, the objective function decreases a 2 %.

**KEY WORDS:** linear programming, mixed production systmes, technoligical change, mitigacion costs, Central Argentine Area

**CLASIFICACIÓN TEMÁTICA:** 3.2; 7.2

# OPTIMIZACION EN EMPRESAS LECHERAS MIXTAS EVALUANDO DISTINTOS NIVELES DE INTENSIFICACIÓN Y REPOSICIÓN DE NUTRIENTES

## INTRODUCCIÓN

La producción de leche argentina concentra en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires, casi el 96 % del total del país, (Lacelli, 2006). La provincia de Santa Fe en particular, ha contribuido aproximadamente con un 30 % de la producción nacional en la última década (MAGIC)

El desempeño del tambo con relación a actividades competitivas, ha sido objeto de numerosos estudios (Cursack *et al.*, 2001, 2002; Castignani H. *et al.*, 2003; Castignani M.I. *et al.*, 2003), sin embargo a pesar de que se aprecian buenas posibilidades de sustitución entre factores de producción en el corto plazo, otorgando flexibilidad a los sistemas frente a cambios de precios relativos, el comportamiento cíclico de la lechería junto al cambio en rentabilidad relativa tambo-agricultura, entre otros factores, han provocado una significativa disminución en la cantidad de tambos en el país: de 30500 tambos en 1988 (CNA '88), registros sucesivos informan 22000 en 1996; 16000 en 2000 y 13000 en 2002 (SAGPyA). Ello se acompaña de un aumento en la cantidad de vacas por tambo, en la producción individual y consiguientemente, en la producción diaria por tambo que puede interpretarse como un indicador de volumen del negocio en lechería.

Paralelamente, la superficie ocupada por la agricultura y en particular la soja, ha tenido una evolución sorprendente. De una superficie mínima implantada con soja en 1970-71 (37.700 ha), se evolucionó a alod más de 2 millones de hectáreas en una década, 6 millones de hectáreas en 1996-97; y 10 millones en la campaña 2000-01, y casi 16 millones de en la campaña 2005-2006, cambiando el patrón geográfico de producción y el perfil de país cerealero por aceitero. Este cambio en el patrón de diversificación también se dio en el área de localización de este estudio.

La ganadería en general, y el tambo en particular, se caracterizan por aplicar tecnologías de proceso. Los diferentes modelos productivos - pastoril, semipastoril o en confinamiento - originan distintos costos que derivan de las diversas combinaciones de factores de la producción empleados. Disponibilidad y precios de los factores y precios del producto, algunos de los cuales exceden el mercado doméstico, inducen los modelos de producción y condicionan la competitividad del tambo, particularmente con las actividades agrícolas. Mientras que la producción lechera requiere aprendizaje continuado, control y ajustes de procesos, la agricultura se realiza con tecnologías de insumos en paquetes de escasa variabilidad. También difieren en la generación de empleo.

También interesa la generación de empleo agrario; en tambo la demanda de mano de obra es de aproximadamente 40 horas por unidad de superficie, en agricultura, oscila entre 1,60 y algo más de 3 horas por unidad de superficie, dependiendo del cultivo o rotación, el sistema de labranza (convencional, Siembra Directa) y la capacidad de los equipos utilizados. En promedio, cada tambo ocupa 3,46 personas; y si la superficie de un tambo medio se dedicara a agricultura, ocuparía 0,27 personas (Castignani *et al.*, 2002).

Sin embargo la agricultura genera una alta rentabilidad del capital operativo, por lo que los modelos diversificados que integran tambo y agricultura, se benefician tanto del flujo financiero mensual y la generación de empleo del tambo como de la rentabilidad del capital

operativo de la agricultura, dando lugar frecuentemente, a estrategias de crecimiento en modalidades organizacionales innovadoras.

A fin de contribuir a una mejor comprensión del desempeño de los sistemas productivos vigentes en la Cuenca Central Santafesina, interesa por lo tanto modelizar empresas de forma tal que se pueda analizar la integración de actividades y su desempeño a partir de los resultados económicos y algunos indicadores relevantes.

## **OBJETIVOS**

El propósito de esta propuesta es desarrollar un modelo que permita analizar los impactos de los cambios de contexto, particularmente los cambios tecnológicos y los cambios institucionales, sobre los resultados económicos de empresas mixtas predominantemente lecheras de la Cuenca Central Santafesina

Los objetivos específicos refieren a modelizar la organización de la empresa a través de los insumos utilizados, los productos obtenidos y los resultados económicos; validar el modelo para lograr buena representación de la situación en estudio; y evaluar el desempeño de la producción lechera y las modalidades de integración de la empresa con la agricultura en escenarios alternativos.

## **ANTECEDENTES**

La investigación económica que incluye la selección de tecnología tiene importancia creciente en la explicación del crecimiento económico (Allen, 2000). La optimización lineal es un método adecuado cuando se quiere identificar la combinación óptima de las variables organizacionales y tecnológicas de un sistema productivo, particularmente cuando el análisis se realiza en un contexto de relaciones internas complejas entre la tecnología, la ecología y la economía. Una adecuada formulación del modelo permite investigar el impacto en el cambio de las condiciones subyacentes de manera de identificar ventajas y desventajas de los diferentes sistemas productivos. Ha sido utilizada en numerosos trabajos; (Beneke, Winterboer, 1984) (Budnick, 1997) (Hardaker, 1971, 1975) (Haeussler, Paul, 1986) (Hazell, Norton, 1986) (Hillier, Lieberman, 1996) (Ragsdale, 1998) entre tantos.

Salim *et al.*, (2005) evalúan la rentabilidad de diferentes prácticas vinculadas a las estrategias de fertilización, manejo de la alimentación, y tratamientos de efluentes particularmente asociadas al impacto ambiental de la producción agraria en general y lechera en particular; Louhichi *et al.* (2004) desarrollan una programación lineal dinámica integrando en un modelo para empresas lecheras componentes biofísicos, técnicos y socioeconómicos con el fin de evaluar el impacto de variables exógenas, particularmente las oportunidades técnicas y las políticas agrarias; Acs *et al.*, (2002), analizan mediante un modelo de programación lineal a nivel de empresas mixtas y considerando en el mismo la estructura de producción, el impacto de políticas de subsidio y ambientales; Butler *et al.*, (2002) analizan comparativamente varios estudios realizados con este procedimiento en la lechería de Estados Unidos de Norteamérica para seleccionar la estructura del modelo que se adapta al análisis de las empresas lecheras irlandesas; Berentsen y Tiessink (2003), evalúan el impacto de políticas ambientales, muchas veces superpuestas, sobre las empresas lecheras holandesas.

En relación con los objetivos específicos de este trabajo, el modelo de programación lineal presenta la posibilidad de analizar las oportunidades técnicas a través de actividades en una matriz. Las restricciones o filas de la matriz representan las relaciones técnicas entre las actividades; las actividades informan las relaciones insumo-producto; y sobre la base de la

función objetivo, la solución de la matriz provee el plan óptimo. Nuevas tecnologías de producción pueden incorporarse agregando actividades al modelo (por ejemplo BPM, disminución del stress térmico, producciones integradas), mejoras en la tecnología aplicada pueden implementarse cambiando los coeficientes del modelo (cambios en la producción lechera individual, incrementos en la producción de forraje por unidad de superficie, aumento en la eficiencia de cosecha de forrajeras). Efectos de la escala, controles vinculados a la preservación de los recursos naturales y a la diversificación, como componente de la flexibilidad, pueden evaluarse agregando restricciones. Cambios en los mercados que afectan los precios, tanto de insumos como de productos, se integran cambiando las restricciones o los precios utilizados en el modelo (Berentsen, 1999). Möhring y Zimmermann (2005) también analizan la sostenibilidad de empresa lechera con un modelo de programación lineal.

Los antecedentes analizados contribuyen al diseño del modelo que permita atender los objetivos planteados, bajo el supuesto de que los sistemas de producción de leche basados en una alta dependencia de pastos ofrecen numerosas ventajas económicas, ambientales y vinculadas al bienestar animal.

## MATERIALES Y METODOS

Los procedimientos a aplicar se han ordenado de acuerdo a los objetivos específicos, pues corresponden a la secuencia adecuada para lograr el objetivo general del proyecto.

a. El primero refiere a modelizar la organización de la empresa a través de los insumos utilizados, los productos obtenidos y los resultados económicos. Para ello se desarrollará un modelo de Programación Lineal; el modelo estándar de PL tiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \{Z = c' x\} \\ \text{S.t. } & Ax \leq b \quad \text{ó} \quad Ax \geq b \quad \text{ó} \quad = 0 \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$

donde:

Z es el MBT (margen total de la empresa)

x es el vector de variables de decisión

c es el vector de márgenes brutos o costos por unidad de actividad

A es la matriz de coeficientes técnicos

b es el vector de valores RHS (disponibilidades)

Sobre la base de los objetivos de producción y detallada información del proceso productivo se modela la empresa. Las actividades o variables de decisión representan las posibilidades técnicas de producción y las restricciones las relaciones técnicas entre las diferentes posibilidades de producción; el modelo permite vincular las distintas actividades a los factores fijos y representar condiciones externas. Datos, parámetros y coeficientes técnicos provendrán de estudios realizados previamente por el grupo de trabajo, y asesores de la región que llevan registros y realizan gestión técnico-económica de empresas agropecuarias; se organizarán para analizar estadísticamente algunas variables críticas y conformar la base de información cuantitativa que se integra en la construcción de algunos escenarios.

La matriz resultante de la modelación realizada tiene 35 actividades y 30 restricciones. Las variables de decisión incluidas en el modelo corresponden:

Las diferentes actividades agrícolas: Trigo-Soja de segunda, Soja de primera y girasol cuya función objetivo son los márgenes brutos por unidad de superficie. Maíz posee como función objetivo el costo de implantación.

Las instalaciones de Tambo: ya que la capacidad de las instalaciones y equipos de ordeño y enfriado de la leche resultan restrictivas. Se plantean cuatro dimensiones de instalaciones.

Los cultivos forrajeros: alfalfa pura en suelo agrícola, alfalfa coasociada en suelo consociado, avena suelo agrícola, moha, y avena en suelo ganadero; la función objetivo es el costo directo de la actividad por unidad de superficie.

El uso del suelo de los cultivos forrajeros transfiere la materia seca generada ( $\text{kg Ms ha}^{-1}$ ) a la oferta de alimentos; la misma esta conformada por forrajes frescos: alfalfa pura y consociada, y avena como verdeo de invierno; forrajes conservados: silo de maíz (Silo), heno de alfalfa "pura" y heno de moha, y concentrados: Energético, Subproductos Proteicos, y Minerales y Aditivos. El concentrado energético es representado por grano de maíz que puede ser propio, transferido del cultivo agrícola en la empresa o comprado en donde existe la posibilidad de comprarlo. La función objetivo en las actividades incluidas como oferta de alimento son: el costo de confección en heno, la cosecha en grano de la propia producción y el precio de mercado en los concentrados comprados.

La mano de obra, cuya función objetivo se vincula al precio de la leche ya que se paga el factor como porcentaje de la producción.

La actividad tambo, cuya unidad es la vaca total. La función objetivo es el costo directo, exceptuando aquellos componentes que conforman actividades.

La reposición de hembras: que admite la posibilidad de comprar las vaquillonas de reemplazo al precio de mercado o tomarlas de la crianza de las terneras de la propia producción. La unidad es la cabeza y la función objetivo es precio de mercado o el costo en el caso de la crianza propia, sin contemplar la alimentación.

Por último entran las actividades de venta en las actividades que se han desagregado, a saber: terneros machos descalostrados y terneras de tambo, carne de las vacas de descarte, leche y maíz grano; en este último la función objetivo es el precio de mercado menos los gastos de comercialización.

Las restricciones relacionadas con los recursos comprenden:

La tierra (exógena): en dos calidades, tierras agrícolas y ganaderas (sobre las cuales se puede realizar agricultura con menores rendimientos); cada calidad de tierra se desagrega en cuatro períodos, que permiten considerar los tiempos de ocupación real por cultivo. De acuerdo a los sistemas que se consideraron como representativos en la escala y clase de suelo, se estableció una disponibilidad de 240 ha de tierra agrícola y 60 ha de tierra ganadera.

Las transferencias: de maíz a concentrado energético propio y a grano para la venta (consumo o venta), y de forrajeras, de cultivos forrajero a oferta de alimentos (a tambo). En esta transferencia se considera la eficiencia de cosecha o aprovechamiento, según corresponda, pero no se incluyen excedentes como margen de seguridad.

El balance de energía como restricción asegura el balance entre oferta del plan forrajero y la demanda del rodeo.

Algunas restricciones que garantizan el respeto a la estructura de la dieta, como ser el mínimo de heno, los máximos de concentrados energéticos, proteína, minerales y vitaminas que componen la dieta, y la relación entre concentrados.

Capacidad de ordeño e instalaciones son dos restricciones vinculadas a las cuatro actividades correspondientes las cuatro que refieren a la dimensión de las instalaciones en función del tamaño del rodeo y un máximo de tiempo asignado a esta tarea.

Producción de leche, venta de vacas de rechazo, recría de hembras, destino de las vaquillonas y venta de terneros permiten atender adecuadamente la dinámica del rodeo y la venta de producto (leche) y de co-productos (venta de carne).

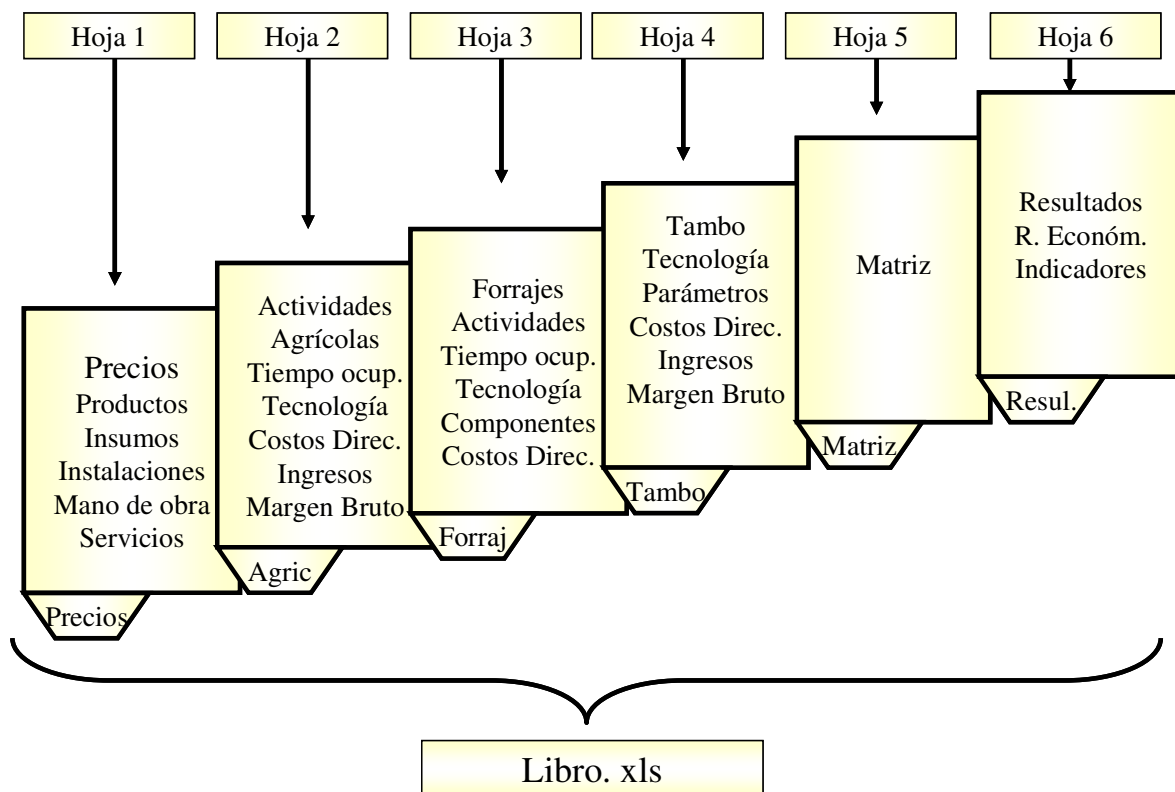
Finalmente hay una restricción relacionada con la mano de obra que transfiere los litros de leche equivalentes al porcentaje del ingreso bruto que cobra el tambero desde la actividad tambo a mano de obra Möhring y Zimm (2005) también analizan la sostenibilidad de empresa lechera con un modelo de programación lineal.

En términos generales, se distinguen cuatro factores que afectan los resultados de la empresa, a saber: los factores fijos, que determinan la capacidad de producción; la eficiencia de producción que se expresa en las relaciones insumo-producto; los precios de los productos y los insumos; y los aspectos vinculados al comportamiento del productor (que pueden originar algunas restricciones). La PL permite representar adecuadamente estos factores y evaluar el impacto que los cambios en cualquiera de ellos en la solución.

La validación del modelo se hizo a través de casos seleccionados entre los sistemas de buen desempeño analizados en investigaciones precedentes (Osan, 2003, Castignani *et al.*, 2005), actualizados a través de informantes calificados de la región en estudio. De ellos se han tomado datos, parámetros y coeficientes para alimentar y validar el modelo de programación lineal, realizando las adaptaciones y cambios hasta lograr una buena representación de la realidad.

El modelo se ha desarrollado sobre hoja de cálculo (Excel) que tiene una estructura de hojas vinculadas que permiten cargar los precios y las diferentes actividades productivas y que se vinculan directamente a la matriz. El Gráfico N° 1 presenta la estructura del modelo.

**GRAFICO N° 1. ARQUITECTURA DEL MODELO**



En la hoja Precios se cargan los precios a utilizar; en este trabajo se han utilizado los precios de los insumos correspondientes al mes de junio; la fuente de información han sido comercios especializados del área de estudio, e información secundaria regional. En los precios de insumos con marcada estacionalidad, se tomó el precio promedio correspondiente al período de ventas actualizado al momento de análisis con el I.P.I.M., Índice de Precios Internos al por Mayor (Nivel General). También se adoptó ese criterio con relación a los precios de los productos agrícolas; el precio de la leche, es un promedio (en pesos de junio de 2008) de los últimos cinco años (2003-2008) del precio del litro de leche abonado al productor mensualmente (MAGIC). La mano de obra de tambo se establecer una proporción de la venta de leche, que para el caso es el 13 % y para la mano de obra transitoria se toman los valores de acuerdo a las disposiciones legales correspondientes.

La hoja Agricultura incluye para las distintas actividades el tiempo de ocupación según períodos; el rendimiento en grano y en el caso de maíz, en materia seca desatinada a silaje; el rendimiento (promedio de los últimos cinco años en la región por cultivo y según calidad de tierra); labores; insumos y gastos de comercialización. De tal forma se obtienen ingresos, costos directos y margen bruto, todos por unidad de superficie. Las actividades agrícolas se vinculan a la matriz proveyendo la función objetivo en términos de margen bruto o costo directo (en las actividades que se han desagregado para facilitar la transferencia), y las relaciones insumo producto correspondientes. Adicionalmente, y en función de los rendimientos, esta hoja permite calcular las extracciones de nutrientes del suelo que permiten asegurar los costos de mitigación cuando se exige al modelo evaluar el sistema asegurando la provisión total de nutrientes que los rendimientos demandan.

En forma similar a la anterior, la hoja Forrajeras opera con los cultivos forrajeros y las reservas, periodizando la oferta expresada en materia seca por unidad de superficie. Los distintos cultivos se desagregan en actividades diferentes según la clase de suelo (agrícola o ganadero) con la producción en materia seca correspondiente. En todos los casos la producción se corrige según coeficientes de aprovechamiento. Se estiman costos directos y demandas de nutrientes.

La hoja de tambo modeliza la actividad considerando parámetros de producción y reproducción, estructura del rodeo, planteo técnico, con énfasis en el plan alimenticio que asegura el balance entre oferta y demanda. Se estiman además los costos para cuatro tipos de instalaciones cuyo tamaño se asocia a la dimensión del rodeo. Se han evaluado cuatro modelos de tambo en base pastoril, que con distintos usos de concentrados alcanzan 15, 17, 19 y 21 litros de leche por día y por vaca en ordeño.

La Matriz se ha estructurado con vinculaciones que cargan de las hojas precedentes las relaciones insumo producto y la función objetivo. Permite cargar las disponibilidades de los dos tipos del recurso tierra según períodos.

Finalmente, la hoja de resultados se ha modelizado de forma de agregar a la información corriente de la programación lineal, algunos resultados económicos, e indicadores de producción y productividad que enriquecen la interpretación de los resultados.

Además de evaluar el impacto de la tecnología mediante distintas producciones individuales que definen el modelo productivo de tambo, se analizan los mismos modelos imponiendo la incorporación de fertilizantes que derivan en los costos de mitigación vinculados a la conservación del suelo. Se limita el análisis a nitrógeno y potasio, y en dosis que aseguren cubrir totalmente la demanda que se asocia a los niveles de rendimiento en actividades agrícolas y de producción de materia seca en las forrajeras.



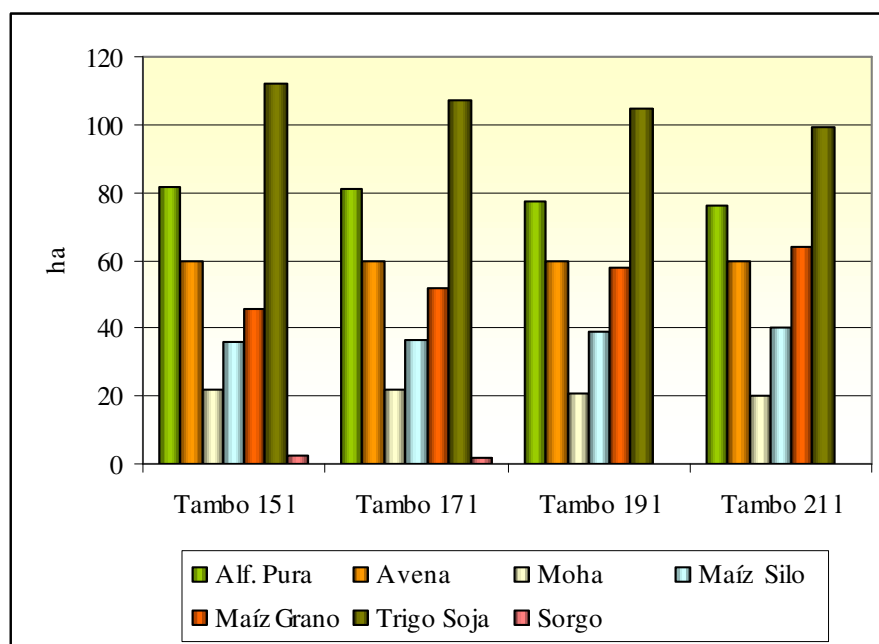
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La superficie base de cálculo de los diferentes modelos es de 300 ha, 240 de clase agrícola y 60 de clase ganadera. El Gráfico N° 2 presenta la asignación de superficies según modelos productivos. En función de la superficie de los distintos cultivos corregida por el tiempo de ocupación, se llega en promedio a un coeficiente de superposición de 1,20; la rotación trigo-soja de segunda tiene el valor máximo (2) y el resto, valores inferiores a 1. Se destaca que el tambo usa gran proporción del suelo agrícola en todas las alternativas. También se hace evidente el aumento de la superficie de maíz (grano y silaje) que permiten la mayor productividad individual, a partir de la disminución de la superficie agrícola y de alfalfa pura.

La estructura del rodeo en todos los modelos es la misma: 341 Vacas Totales, 256 en ordeño y 85 secas, 114 vaquillonas de reposición de la propia producción y 5 compradas. La relación de precios entre la vaquillona comprada y los costos de la recría en la empresa, hacen que la solución incluya la compra de las hembras que completan la demanda anual basada en las estrategias de reemplazo adoptadas.

En función del rodeo seleccionado, las instalaciones de ordeño corresponden al tipo lado por lado con 16 bajadas en todos los casos; cabe aclarar que el dimensionamiento de las instalaciones se modeliza en la hoja de Tambo, y que impone un máximo de 90 minutos en la tarea de ordeño, de acuerdo a las sugerencias de expertos en el tema (Taverna, 2003). La capacidad mínima requerida para los equipos de frío es de 7680, 8704, 9728 y 10752 litros.

GRAFICO N° 2. USO DEL SUELO SEGÚN ALTERNATIVAS DE TAMBO



Fuente: elaboración de los autores.

En el Cuadro N° 1 se presentan algunos indicadores de producción, de productividad e indicadores de tecnología según producción individual diaria.

**CUADRO N° 1. RESULTADOS FISICOS DE TAMBO SEGÚN ALTERNATIVAS DE TAMBO**

		Tambo 15 l	Tambo 17 l	Tambo 19 l	Tambo 21 l
Producción leche	miles l año <sup>-1</sup>	1400	1587	1774	1960
	l día <sup>-1</sup>	3836	4348	4859	5371
Producción individual	l año <sup>-1</sup>	5475	6205	6935	7665
	l ha-tambo <sup>-1</sup>	8555	9558	10660	11637
	kg GB ha tbo- año <sup>-1</sup>	299	335	373	407
Carga Tambo	cab ha-VT <sup>-1</sup>	2,08	2,05	2,05	2,02
Uso concentrados	kg VO-día <sup>-1</sup>	5,55	6,29	7,03	7,77

Fuente: elaboración de los autores.

El aumento de la producción individual diaria redonda en una mayor producción total y diaria de leche y en una mayor productividad por unidad de superficie. Sin embargo el aumento de producción individual provoca cambios en el plan alimenticio, que se expresan en la disminución en la carga animal y el aumento del consumo de concentrados, que requieren las vacas de alta producción.

En el Cuadro N° 2 se informan los resultados económicos de tambo para los distintos niveles de productividad individual. Entre la menor y la mayor productividad individual se verifica un incremento en los ingresos de 38 % mientras que en los egresos es el 20 %. Ello explica la disminución de costos directos y el aumento margen bruto por litro de leche a medida que se intensifica el sistema de producción. A medida que se intensifica el sistema, aumenta la participación relativa de la alimentación y la mano de obra en los costos directos. La optimización provee una participación relativa similar a la de los modelos reales de buen desempeño, que han servido para validar el modelo; corroboran estos resultados la racionalidad económica de los empresarios exitosos del sector.

**CUADRO N° 2. RESULTADOS ECONÓMICOS SEGÚN ALTERNATIVAS DE TAMBO**

		Tambo 15 l	Tambo 17 l	Tambo 19 l	Tambo 21 l
Ingresos Tambo	miles \$ año <sup>-1</sup>	1246	1402	1559	1716
Costos Directos	miles \$ año <sup>-1</sup>	697	742	790	835
	\$ l <sup>-1</sup>	0,45	0,42	0,41	0,39
Margen Bruto	\$ l <sup>-1</sup>	0,32	0,34	0,35	0,37
Estructura de CD					
Alimentación		49%	50%	51%	51%
Mano de Obra		17%	18%	19%	20%
Varios		17%	16%	15%	14%
Reposición hembras		10%	9%	9%	8%
Instalaciones		7%	7%	7%	6%

Fuente: elaboración de los autores.

La agricultura entra en las distintas soluciones con dos actividades: la microrrotación trigo-soja de segunda (un máximo de 112 ha y un mínimo 99 ha en el modelo más intensivo) y sorgo granífero que aparece solamente en los modelos con 15 y 17 litros de producción con una superficie mínima (2 ha) en tierras ganaderos.

Los resultados de la empresa (expresados como Margen Bruto Total) se detallan en Cuadro N° 3. Al aumento progresivo el indicador global de resultado económico acompaña un aumento del margen bruto por unidad de superficie y de la contribución del tambo, en términos, relativos al resultado de la empresa.

**CUADRO N° 3. RESULTADOS ECONÓMICOS DE TAMBO SEGÚN MODELOS ALTERNATIVOS DE TAMBO.**

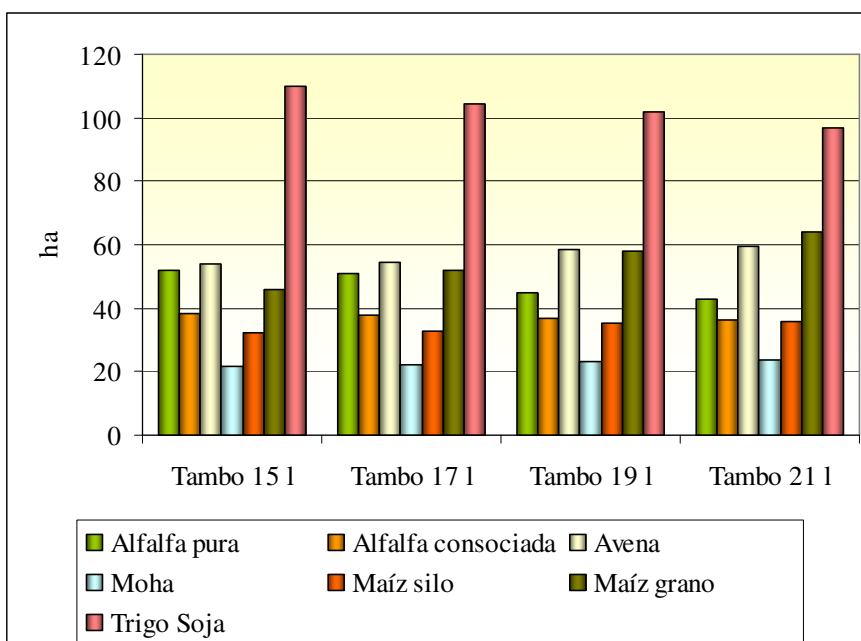
		Tambo 15 l	Tambo 17 l	Tambo 19 l	Tambo 21 l
Margen Bruto	miles \$ año <sup>-1</sup>	736	839	942	1045
	\$ ha- año <sup>-1</sup>	2657	3063	3477	3900
Contribución Tambo	% MBT	75	79	82	84

Fuente: elaboración de los autores.

Manteniendo los cuatro niveles de producción individual diaria en tambo, se impuso la restitución de N y P en todas las actividades agrícolas y en los cultivos forrajeros. Los niveles de fertilizantes usados surgieron de calcular las extracciones con modelos de uso corriente (IPNI, INPOFOS) ajustados mediante la consulta a informantes calificados. Los costos directos aumentaron por el incremento en la cantidad de fertilizantes, y los márgenes de las actividades agrícolas disminuyeron. Esto produce modificaciones en la asignación del suelo. En primer lugar se destaca la inclusión de la alfalfa consociada, junto a la alfalfa pura satisfacen las restricciones de rotación. Cobra importancia la avena, se mantiene la participación de moha y el maíz (para silaje y grano) crece con la intensificación del sistema. Se mantiene la dotación animal y la estructura del rodeo.

La agricultura se reduce a trigo-soja de segunda ocupando el 100 ha; la producción individual de las vacas lecheras es de 15 litros, disminuyendo a medida que aumenta la producción individual, pues se amplía la superficie de tambo, particularmente el maíz que transfiere granos a la producción de leche.

**GRAFICO N° 3. USO DEL SUELO, CON REPOSICION DE NITROGENO Y POTASIO, Y SEGÚN ALTERNATIVAS DE TAMBO**



Fuente: elaboración de los autores.

La producción global, la productividad y los indicadores tecnológicos de tambo se mantienen, ya que se imponen los niveles de producción individual y las restricciones garantizan el equilibrio del plan alimenticio. Por lo tanto a igual producción el ingreso es el mismo que en los planteos sin restitución de nutrientes. Los cambios en los costos directos producen ligeras modificaciones en el margen bruto de la empresa y los márgenes unitarios (algo menos del 2 %) y un pequeño incremento en la contribución del tambo al margen bruto de la empresa. (Cuadro N° 4). Cabe recordar que el primer análisis se realizó a partir de costos de actividades con la tecnología de uso corriente, que incluye el uso de fertilizantes pero no en dosis suficientes como para cubrir la totalidad de lo que el rendimiento exige.

#### **CUADRO N° 4. RESULTADOS ECONÓMICOS DE TAMBO, CON REPOSICIÓN DE NITROGENO Y POTASIO Y SEGÚN ALTERNATIVAS DE TAMBO.**

		Tambo 15 l	Tambo 17 l	Tambo 19 l	Tambo 21 l
Margen Bruto	miles \$ año <sup>-1</sup>	721	824	929	1033
	\$ ha- año <sup>-1</sup>	2604	3009	3430	3855
Contribución Tambo	% MBT	76	80	82	85

Fuente: elaboración de los autores.

En todos los modelos analizados el índice de competitividad relativa de tambo y agricultura, calculado como la relación de los márgenes brutos de ambas actividades, fue superior a uno, ya que en todos los casos, el tambo que optimiza la asignación de recursos, tiene mayor margen bruto que la agricultura.

## **CONCLUSIONES**

Con respecto a los escenarios analizados, se comprueba el impacto positivo en los resultados económicos que derivan de la adopción de tecnología disponible y probada en producción lechera y la mayor competitividad relativa de tambo. Los costos de mitigación que aseguran la restitución de nitrógeno y fósforo provocan una disminución de casi 2 % en el margen bruto de la empresa.

Una importante conclusión que surge del trabajo refiere a la bondad del procedimiento utilizado. Diversos condicionantes de la producción, integrados en un modelo abarcativo capaz de explicar interacciones internas, permitió evaluar el impacto de algunos cambios en el grado de intensidad de la producción de leche y de la inclusión de los costos de mitigación relacionados con dos nutrientes: N y P. Se considera que a partir de las validaciones realizadas y los resultados obtenidos, el modelo resulta eficiente. Permitirá avanzar en la evaluación de otros escenarios tecnológicos e institucionales que cobran importancia creciente en la lechería argentina.

Para el empresario rural de la región y los profesionales de las ciencias agrarias el modelo desarrollado aporta a una mejor comprensión de los sistemas predominantemente lecheros desde un enfoque sistémico, permitiendo un accionar proactivo ante los posibles senderos tecnológicos y políticas sectoriales y regionales. Se espera además, que sea de utilidad en el diseño de políticas orientadas a un desarrollo regional más equilibrado.

## **BIBLIOGRAFIA**

S. Acs, P. Berentsen, K. Takacs-Gyorgy and Ruud Huirne, "Economic Modeling of Hungarian Farms Incorporating Nature Conservation", Proceedings of the 13th International Farm Management Congress, Wageningen, The Netherlands, 2002.

B. Allen, "The future of the microeconomics", Journal of Economic Perspectives, 2000, Vol. 14 No 1 pp 143-150.

R. Beneke, R. Winterboer, "Programación Lineal: aplicación en la agricultura", Aedos, Barcelona, 1984.

P.B.M Berentsen, "Economic-environmental modelling of Dutch dairy farms incorporating technical and institutional change", Universidad de Wageningen. Holanda, 1999.

P. B. M. Berentsen and M. Tiessink, "Potential Effects of Accumulating Environmental Policies on Dutch Dairy Farms", Journal of Dairy Science, 2003, Vol. 86, No. 3, pp. 1019-1028

R. Bisang, G. Gutman, V. Cesa, "La trama de Lácteos en Argentina". En Lineamientos para Fortalecer el Crecimiento Económico. CEPAL – BID. Secretaría de Política Económica, Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, 2003.

F.S. Budnick, Matemáticas aplicadas para administración, economía y ciencias sociales. McGraw Hill, México, 1997.

A.M. Butler, M.Wallace, and P. Berentsen, "Comparison of Different Studies to Analyse Adaptation on Dairy Farms", Proceedings of the 13th International Farm Management Congress, Wageningen, The Netherlands, 2002.

M.I. Castignani, O.E. Osan, H.A. Castignani, Escala, tecnología y organización: análisis de su impacto en los costos de la lechería argentina, XXXIII Reunión de la AAEEA, Buenos Aires, 2002.

M.I. Castignani, O. Osan, M. Travadelo, H. Castignani, M. Suero, A.M Cursack. 2006. Competitividad del tambo frente a actividades alternativas en la cuenca central santafesina: su evolución. Revista Argentina de Economía Agraria. Nueva serie. Volumen IX Número I. Otoño 2006. 43-60.

M.I. Castignani, O. E. Osan, M. Travadelo, H. Castignani, M. Suero, A.M. Cursack, Competitividad del tambo frente a actividades alternativas en la Cuenca Central Santafesina: su evolución, XXXIV Reunión de la AAEEA. Río Cuarto, 2003.

A.M. Cursack de Castignani, M.I. Castignani, O. E. Osan, M Travadelo, La competitividad de las actividades agropecuarias en la Cuenca Central Santafesina: análisis microeconómico del efecto de la devaluación. XXXIII Reunión de la AAEEA. Buenos Aires, 2002.

A.M. Cursack de Castignani, M. Travadelo, O. Osan, M.I. Castignani, M. Suero, La competitividad de las actividades agropecuarias en la Cuenca Central Santafesina: un análisis microeconómico. FAVE, 2001, Vol 15, No 2, (29 p.).

J.B. Hardaker, "Farm Planning by Computer". U. K. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Technical Bulletin No 19, 1971.

E. F. Haeussler, R.S. Paul, Matemáticas para Administración y Economía. Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1986.

J. B Hardaker, Programación de granjas con computadoras, Acribia, Zaragoza, 1975.

- F.S. Hillier, G. J. Lieberman. Introducción a la investigación de operaciones, 1997. McGraw Hill, 1991.
- P.B. Hazell, R.D. Norton, Matemática programming for economic analysis in agriculture. McMillan, New York. 1986.
- Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS ) en América Latina. [www.inpofos.org](http://www.inpofos.org)
- G. Lacelli, W. Mancuso, E. Schilder, AArzubi A., Terán J. C., Comerón E., Taverna M., del Castillo, N., Maceira, J... 2006. Creación y Distribución de Valor en la Cadena Láctea. Eslabón Primario. Provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe. Fundación Argentinata – Consejo Federal de Inversiones. 217 pp.
- K. Louhichi, V. Alary and P. Grimaud, “A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in dairy farming systems on the Réunion Island”, Animal Research, INRA, 2004, Vol. 53 pp. 363-382.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Industria y Comercio (MAGIC) de Santa Fe. <http://santafe.gov.ar/magic/>. Relevamiento de tambos. 2002.
- A. Möhring and A. Zimmermann, “Construction and application of a LP farm model with an integrated Life Cycle Assessment for the determination of sustainable milk production systems”, Proceedings of the XIth congress of the European Agricultural Economists Association. 2005.
- O.E. Osan, Tipología de Empresas Lecheras Pampeanas de Argentina. Tesis de Magíster en Economía Agraria. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2003, <http://www.faif.puc.cl/biblioteca/mageconomia.htm>.
- C.T. Ragsdalle, Spreadsheet Modeling and Decision Analysis, A Practical Introduction to Management Science. South Western College Publishing, USA, 1998.
- J. Salim, C. R. Dillon, J. McAllister and D. Hancock, “An Integrated Precision Production and Environmental Management Analysis of a Kentucky Dairy Farm”, Proceedings of the Annual Meeting of the American Association of Agricultural Economists, 2005.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, SAGPYA, <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>
- M. Taverna, M., “Instalaciones de Ordeño: Análisis teórico de los factores que determinan el rendimiento”, XX Curso Internacional de lechería, tomo 3, INTA Rafaela. 2003