

ITEA

PRODUCCIÓN ANIMAL

**Asociación
Interprofesional
para el Desarrollo
Agrario**

1998 – Vol. 94A N.º 2



ITEA

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

1998 - AÑO XXIX Vol. 94 A N.º 2	DIRECCIÓN Y REDACCIÓN Montañana, 176 - Apartado 727 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 576311 Fax.: 34-976 575501 E-mail: alberti@mizar.csic.es notivol@mizar.csic.es joseluis@mizar.csic.es	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 1130-6009 INO Reproducciones, S.A. Polígono Miguel Servet, nave 13 50013 Zaragoza
------------------------------------	--	--

COMITÉ DE REDACCIÓN

DIRECTOR: Pere Albertí Lasalle
SUBDIRECTOR: Joaquín Uriarte Abad
SECRETARIOS: Serie Producción Vegetal: Eduardo Notivol Paño
Serie Producción Animal: José Luis Alabart Álvarez
VOCALES: José Álvarez Álvarez
Rafael Delfa Belenguer
Joaquín Gómez Aparisi
Emilio Manrique Persiva
Clara Marín Alcalá
Juan A. Marín Velázquez
Luis Pérez y Pérez
M.^a Dolores Quílez Sáez de Viteri
Carlos Zaragoza Larios

JUNTA DIRECTIVA DE A.I.D.A.

PRESIDENTE: Leonardo Plana Claver
VICEPRESIDENTES: 1.º Emilio Manrique Persiva
2.º Rafael Socías i Company
SECRETARIO: José Álvarez Álvarez
TESORERO: Joaquín Uriarte Abad
VOCALES: José Folch Pera
Miguel Cambra Álvarez
Ricardo Revilla Delgado
Joaquín Gómez Aparisi
Antonio Felipe Mansergas
Pere Albertí Lasalle
Dunixi Gabiña Iturriaga

Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa
de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, editor titular del Copyright.

ITEA no se responsabiliza necesariamente con las opiniones vertidas en los artículos firmados
que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

Suscripciones y Distribución

Información Técnica Económica Agraria publica tres números en volumen. En
1998 se publicarán los volúmenes 94A y 94V correspondientes a las series
Producción Animal y Producción Vegetal.

El precio de la suscripción para 1998 será de 4.000 ptas. para una serie y de 5.500 ptas.
para las dos series.

Se acepta el intercambio con otras revistas.

ITEA. Apartado 727. 50080 Zaragoza (ESPAÑA)

COMPARACIÓN ENTRE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL Y LA MONTA NATURAL EN ESPAÑA. ESTUDIO ECONÓMICO TEÓRICO

M.L. García*

J. Cifre**

M.P. Viudes de Castro*

* Laboratorio de Reproducción

** Unidad de Mejora Genética

Universidad Politécnica de Valencia

Apartado 22012, Camino de Vera 14

46071 Valencia

España

RESUMEN

Se realiza un estudio económico comparativo de la inseminación artificial frente a la monta natural en cunicultura. En el análisis se consideran diferentes tamaños de explotación, fertilidades y ciclos de manejo, así como dos tipos de inseminación artificial, una realizada por el granjero con machos de su propia explotación y otra contratando un servicio de inseminación. Los resultados se obtienen al variar la fertilidad, el precio de la dosis de semen, el precio de venta, el ahorro en mano de obra y el tamaño de la explotación. En la mayoría de los casos los costes de la inseminación artificial son mayores a los de la monta natural.

Palabras clave: Conejo, Inseminación artificial, Monta natural, Ciclos de manejo, Estudio económico.

SUMMARY

A COMPARATIVE ECONOMIC STUDY OF ARTIFICIAL INSEMINATION AND NATURAL MATING IN SPAIN

A comparative economic analysis between artificial insemination and natural mating is described. The different production cycles, fertility rate, artificial insemination and farm size have been considered in the analysis. The variations in the results due to selling price, farm size, price for a semen dose, fertility and input of labour have been studied. In most cases the results show higher costs of artificial insemination *versus* natural mating.

Key words: Rabbit, Artificial insemination, Natural mating, Production cycles, Economic analysis.

Introducción

El uso de la inseminación artificial en la producción de carne de conejo está muy extendido en Italia y en Francia. En España, esta técnica es cada día más atractiva para los cunicultores.

Autores como AMBOINI *et al.* (1996), MUGUERZA *et al.* (1996) y LEYÍN y OSCOZ (1996) han analizado las principales ventajas de la inseminación artificial (IA) frente a la monta natural (MN). Estas ventajas son las que se citan a continuación:

- Una reducción en el número de machos en la explotación, y por tanto una reducción en el capítulo de gastos por adquisición y mantenimiento de machos. Sus jaulas son ocupadas por hembras que producen gazapos adicionales con respecto a la monta natural.

- Un ahorro de mano de obra.
- Un mayor crecimiento de los gazapos al utilizar machos de mayor valor genético.

En el presente estudio se ha asociado la inseminación artificial con la utilización de machos cárnicos de núcleos de selección. Las diferencias entre los machos utilizados en la MN y en IA son: una mayor velocidad de crecimiento y un mejor índice de conversión para los machos de IA pero con peor rendimiento a la canal (ESTANY *et al.*, 1992). Económicamente estas diferencias equivalen a un menor coste de producción del kg de carne.

La inseminación artificial, generalmente, va asociada a ciclos de producción de 21 ó 42 días que aumentan considerablemente el ahorro en mano de obra con respecto a un manejo semanal (MUGUERZA *et al.*, 1996).

El objetivo de este trabajo es comparar, desde el punto de vista económico, la mon-

ta natural con la inseminación artificial bajo diferentes ciclos de producción, analizando parámetros productivos y económicos.

Metodología

El trabajo realizado consiste en un estudio económico teórico donde se compara la IA y MN. Para su desarrollo se utilizó una hoja de cálculo (*Microsoft Excel*).

En el cuadro 1 se indican los parámetros básicos y los capítulos de ingresos y costes considerados como diferenciales entre la IA y la MN. El análisis ha sido desarrollado bajo diferentes supuestos intentando abarcar los casos más frecuentes que se dan actualmente en la cunicultura española.

Tipos de inseminación

1.1. IA realizada por el granjero con machos de su propia granja. El granjero recupera, valora el semen, prepara las dosis e insemina. El número de machos necesarios en la explotación disminuye al realizar la IA con respecto a los de MN. Para calcular el número de machos necesarios en inseminación se ha tenido en cuenta una producción de 250-500 millones de espermatozoides y diluciones 1/10 (CASTELLINI, 1996).

En este caso el cunicultor reduce el número de machos en la explotación y se ha supuesto que con MN no utiliza machos terminales seleccionados por velocidad de crecimiento, mientras que en IA utiliza machos comerciales seleccionados. Esta consideración repercute en el coste de producción de los gazapos de carne, que pueden disminuir su período de engorde y mejorar su índice de conversión. Por esto, se ha estimado un coste de producción es 1,2 ptas./kg

menor para la IA que para la MN dado que se utilizan machos de mayor valor genético que los utilizados en MN (Baselga, comunicación personal).

1.2. El granjero contrata un servicio de IA que incluye tanto el semen como la mano de obra de la inseminación a un precio estimado en 120 ptas./dosis. En este caso se eliminan completamente los machos de la explotación.

Se considera además una reducción en el coste de producción de 3,6 ptas./kg debido a la utilización de los mejores machos existentes en los núcleos de selección para la IA frente a la no utilización de machos cárnicos en MN (Baselga, comunicación personal).

2. Tipo de manejo

El sistema de manejo considerado es siempre semanal para la MN pero semanal, a 21 días o a 42 días para la IA. Se ha supuesto un ahorro en mano de obra debida exclusivamente al cambio de manejo de un 20% para la banda a 21 días y de un 25% para la banda a 42 días (KOEHL y MIRABITO, 1996). El ahorro considerado en mano de obra del granjero por las inseminaciones es de un 4% si la IA la realiza el granjero y de un 100% si la realiza un técnico.

El intervalo entre partos es el factor que más diferencia a los distintos tipos de banda. Para una fertilidad del 75% el intervalo entre partos calculado es de 46,5 días para el manejo semanal (cuadro 1), 48,8 días para una banda a 21 días y 56,3 para una banda a 42 días, suponiendo un intervalo parto-cubrición de 12 días. Estos valores concuerdan con los citados en la bibliografía para estas fertilidades y ritmos reproductivos (CASTELLINI, 1995).

3. Tamaño de la explotación

Para mantener constante la inversión inicial en la granja y poder así comparar ambos tipos de manejo reproductivo, el tamaño de la explotación, medido como número de jaulas de hembra en la granja, es el mismo para la MN y la IA. El número de machos y de hembras se ha considerado variable y depende del tipo de manejo reproductivo y productivo.

Todos los resultados de los cuadros se exponen para un tamaño de explotación de 1.000 jaulas repartidas en jaulas de hembras y las correspondientes jaulas de macho, salvo que se indique lo contrario. Así mismo, estos resultados varían en función del tipo de inseminación, la fertilidad, el coste del servicio de inseminación, el precio de venta, la mano de obra y el tamaño de la explotación. Los resultados económicos que se muestran son diferencias entre ingresos y costes semanales de la IA y la MN.

Resultados y discusión

1. Tipo de inseminación

1.1. Inseminación realizada por el granjero

El cuadro 2 muestra la comparación entre IA y MN bajo diferentes valores de fertilidad y sistemas de manejo. En este cuadro se han dividido los beneficios en dos partes. Por un lado los beneficios producidos por la realización de IA y no MN, y por otro lado los beneficios debidos a un cambio de banda.

En el caso que un cunicultor trabaje en monta natural con un valor de fertilidad al parto del 75%, perderá 6.575 (6.195+320) ptas./semana (cuadro 2) si decide realizar el

CUADRO 1
PARÁMETROS, GASTOS E INGRESOS DIFERENCIALES ENTRE IA Y MN¹

Concepto	Valores		Consideraciones
	IA	MN	
Parámetros básicos			
– Productivos:			
Fertilidad	0.65-0,80	0,75-0,80	RODRIGUEZ DE LARA (1996)
Nº de gazapos vendidos/parto	7,5	7,5	
% de ocupación	120%	120%	
Desecho inicial de machos	20%	20%	
Peso vivo venta	1,9 kg	1,9 kg	
Nº hembras/UTH	400	400	LEYÚN y OSCOZ (1996)
– Económicos:			
Precio pienso adultos	36,70 ptas./kg	36,70 ptas./kg	ASESCU (1996) ROSELLI, (1995), BASELGA (<i>Com. Pers.</i>) TORRES <i>et al.</i> (1997) MUGUERZA <i>et al.</i> (1996)
Precio pienso engorde	35,20 ptas./kg	35,20 ptas./kg	
Precio venta	230 ptas./kg p.v.	230 ptas./kg p.v.	
Coste de producción	208,8 ptas./kg	210 ptas./kg	
Precio machos	4.000 ptas.	2.000 ptas.	
Precio mano de obra	1.273 ptas./h	1.273 ptas./h	
<i>Parámetros derivados</i>			
Intervalo entre partos	46,5 días	46,5 días	2
N. montas/semana	266	241	
Gazapos	1,13	1,13	
producidos/hembra y semana			
Gazapos extra con IA/semana	139,07	–	3
<i>Ingresos extra IA vs MN</i>			
Gazapos extra vendidos/semana		61.081 ptas.	
Mano obra extra/semana		307 ptas.	
Adquisición de machos/semana		3.969 ptas.	Vida útil: 1 año
<i>Costes extra IA vs MN</i>			
Alimentación		-1.323 ptas.	Hembras: 200 g/día
diferencial entre			Machos: 150 g/día
machos y hembras/ semana			
Machos: 150 g/día			
Coste producción extra		-52.356 ptas.	
gazapos/ semana			
Amortización equipo de IA		-313 ptas.	4
Pipetas de plástico		-2.857 ptas.	10,27 ptas./pipeta
Diluyente		-222 ptas.	0,8 ptas./dosis
Tratamiento hormonales		-13.324 ptas.	5
Control bimensual de			
la calidad del semen		-196 ptas.	6

1. Los valores corresponden a un manejo semanal, fertilidad del 75% para MN e IA. 1.000 jaulas de hembras e inseminación realizada por el granjero.
2. Intervalo monta-palpación: 12 días. Intervalo palpación-monta: en banda semanal. 2 días; en banda a 21 días, 9, días; en banda a 42 días, 30 días.
3. El número de hembras es superior con IA que con MN porque el número de machos requerido para la IA es menor y el número de jaulas es constante.
4. Amortización a 10 años: un microscopio (50.000 ptas.) y un baño (25.000 ptas.). Amortización a 5 años: 6 vaginas artificiales (4.640 ptas./ud.) y camisas de latex (1.233 ptas./ud.)
5. PMSG: 20% hembras. 32 ptas./dosis; GnRH: 100% hembras. 29.5 ptas./dosis; PGF_{2α} (1-Fertilidad) hembras. 40 ptas./dosis.
6. 100 ptas./macho y control. La calidad del semen utilizado en IA es controlado por personal especializado.

mismo IA con banda a 21 días y obtiene una fertilidad media del 70%. Esta pérdida de 6.515 ptas./semana es debida principalmente, 6.195 ptas./semana, al hecho de inseminar, y únicamente se pierden 320 ptas./semana por cambiar un manejo semanal a una banda a 21 días.

Como se desprende del cuadro 2, en todos los casos se producen pérdidas por aplicar la inseminación. Esto es debido a que los gastos asociados a la inseminación, principalmente las hormonas, no compensan los ingresos obtenidos al colocar hembras en las jaulas de los machos eliminados. El número de machos eliminados es superior en la banda semanal que en la banda a 21 días o la banda a 42 días.

El cambio de banda implica en algunos casos ganancias pero no llega a compensar las pérdidas que se producen con la IA. Así,

es el manejo a 42 días el que menores pérdidas conlleva, porque aunque con este manejo el intervalo entre partos se alarga considerablemente con respecto a un manejo semanal y, por tanto la productividad de las jaulas disminuye, esta pérdida de productividad se compensa con el hecho de tener más jaulas de hembras en la explotación procedentes de eliminar algunos machos al pasar de MN a IA y con el ahorro en mano de obra.

En el caso de que no se produzca cambio de banda, es decir, tanto en MN como en IA el manejo sea semanal, el resultado económico es nulo para el capítulo de la banda únicamente cuando no hay variación de fertilidad entre la MN y la IA. Sin embargo, este apartado es distinto de cero cuando hay cambios de fertilidad. Esto es debido a que el cálculo referente a los ingresos por

CUADRO 2
COMPARACIÓN ENTRE LA IA REALIZADA POR EL GRANJERO Y LA MN SEMANAL EN FUNCIÓN DE LA FERTILIDAD Y DE LA BANDA UTILIZADA EN IA

Manejo		Fertilidades ¹			
		$F_{IA}=0,70$ $F_{MN}=0,75$	$F_{IA}=0,75$ $F_{MN}=0,75$	$F_{IA}=0,75$ $F_{MN}=0,80$	$F_{IA}=0,80$ $F_{MN}=0,80$
IA _S -MN _S ²	IA ⁵	-5.448	-3.992	-4.004	-2.677
	BANDA ⁶	-1.254	0	-1.236	0
IA ₂₁ -MN _S ³	IA	-6.195	-5.574	-5.590	-5.018
	BANDA	-320	399	-820	894
IA ₄₂ -MN _S ⁴	IA	-8.802	-8.505	-8.539	-8.259
	BANDA	3.186	5.919	4.718	7.575

1. F_{IA} = Fertilidad en IA. F_{MN} = Fertilidad en MN.

2. Manejo semanal en IA vs manejo semanal en MN.

3. Manejo en banda a 21 días en IA vs manejo semanal en MN.

4. Manejo en banda a 42 días en IA vs manejo semanal en MN.

5. Diferencia entre el beneficio obtenido con la IA con respecto a la MN, en ptas./semana.

6. Diferencia entre el beneficio obtenido por un manejo semanal, a 21 días o a 42 días frente a un manejo semanal, en ptas./semana.

cambio de banda depende de los gazapos extra producidos a la semana por cada hembra de la explotación, que está directamente relacionado con la diferencia entre intervalos entre parte de las hembras manejadas por IA y por MN.

1.2. Inseminación realizada por un técnico

En el caso de que el granjero contrate un servicio de IA a 120 ptas./hembra que incluye tanto las hormonas como las inseminaciones, todas las jaulas de macho serán sustituidas por jaulas de hembras. Además se producirá un ahorro en mano de obra puesto que el servicio contratado evita todas las operaciones relativas a la monta.

Si dividimos las pérdidas que se producen a la semana en aquellas atribuibles a la inseminación y al cambio de banda, como

se indica en el cuadro 3, se observa que, el hecho de realizar la inseminación produce pérdidas en todos los casos, excepto en la banda a 42 días y fertilidades del 80%, que únicamente son compensadas con el cambio de banda a 42 días.

Las pérdidas no son tan elevadas como en el caso de inseminación por el propio granjero porque hay más eliminación de jaulas de macho. En este caso el número de machos eliminados es superior en la banda a 42 días que en la banda a 21 días o en la semanal. Además la ganancia que implica la mejora genética es más elevada si insemina un técnico que si lo hace el propio granjero, debido al valor genético de los machos que se utilizan en cada caso.

Aunque los valores con respecto al cambio de banda siguen la misma evolución que en el caso de que insemine el granjero,

CUADRO 3
COMPARACIÓN ENTRE LA IA CON DOSIS COMPRADA Y LA MN SEMANAL EN FUNCIÓN DE LA FERTILIDAD Y DE LA BANDA UTILIZADA EN IA

Manejo		Fertilidades ¹			
		$F_{IA}=0.70$ $F_{MN}=0.75$	$F_{IA}=0.75$ $F_{MN}=0.75$	$F_{IA}=0.75$ $F_{MN}=0.80$	$F_{IA}=0.80$ $F_{MN}=0.80$
IA ₅ -MN ₅ ²	IA ⁵	-5.025	-3.125	-3.433	-1.712
	BANDA ⁶	-1.254	0	-1.236	0
IA ₂₁ -MN ₅ ³	IA	-4.065	-2.429	-2.737	-1.231
	BANDA	399	2.118	1.189	2.096
IA ₄₂ -MN ₅ ⁴	IA	-1.557	-551	-858	108
	BANDA	477	3.211	2.282	5.140

1. F_{IA} = Fertilidad en IA. F_{MN} = Fertilidad en MN.

2. Manejo semanal en IA vs manejo semanal en MN.

3. Manejo en banda a 21 días en IA vs manejo semanal en MN.

4. Manejo en banda a 42 días en IA vs manejo semanal en MN.

5. Diferencia entre el beneficio obtenido con la IA con respecto a la MN, en ptas./semana.

6. Diferencia entre el beneficio obtenido por un manejo semanal, a 21 días ó a 42 días frente a un manejo semanal, en ptas./semana.

los valores no son exactamente los mismos porque el número de hembras en la explotación es diferente. En este caso el número de hembras es superior al apartado anterior al ser eliminados todos los machos. Sigue siendo la banda a 42 días la más favorecida porque la cantidad de jaulas de hembras que aparecen al eliminar los machos y el mayor ahorro en mano de obra vuelve a compensar las pérdidas que se producen por la baja productividad de las jaulas de machos reutilizadas.

A partir de este punto, todas los cuadros realizadas son para el caso en que la IA sea realizada por un técnico.

1.3. Coste del servicio de inseminación

El cuadro 4 indica el coste de un servicio de inseminación por cubrición que puede pagar el cunicultor para obtener el mismo beneficio que con la MN para diferentes tipos de manejo y distintas fertilidades. Si un cunicultor realiza un manejo semanal en su explotación, tiene una fertilidad media del 75% y decide contratar un servicio de inseminación sin variar su tipo de manejo, obtendrá el mismo beneficio que con la MN si paga dicho servicio a 97,8 ptas./hembra, con un fertilidad en IA del 70%. Si el

coste del servicio es inferior a dicho valor, obtendrá beneficio con respecto a la MN, y viceversa si el precio del servicio es superior.

La banda a 42 días se puede permitir los costes del servicio de inseminación más altos, seguido de la banda a 21 días y por último la banda semanal.

Una disminución de la fertilidad en IA de un 5% con respecto a la MN representa un aumento entre 11 y 18 ptas. del precio del servicio si se compara con los precios para el caso de fertilidades iguales.

Los precios comerciales actuales de las dosis de semen no coinciden con los precios obtenidos. Hay que tener en cuenta que se han considerado granjas con buenos parámetros productivos (cuadro 1). En granjas con peores resultados productivos la IA puede mejorarlos, y por tanto sí podría ser rentable adquirir la dosis a los precios comerciales actuales.

2. Tipo de manejo

2.1. Fertilidades en MN

La fertilidad es uno de los parámetros de mayor relevancia en la producción cuníco-

CUADRO 4
PRECIO UMBRAL DEL SERVICIO DE IA (PTAS./DOSIS), EN FUNCIÓN DE LA FERTILIDAD Y DEL TIPO DE MANEJO

Manejo	Fertilidades ¹			
	$F_{IA}=0,70$ $F_{MN}=0,75$	$F_{IA}=0,75$ $F_{MN}=0,75$	$F_{IA}=0,75$ $F_{MN}=0,80$	$F_{IA}=0,80$ $F_{MN}=0,80$
IA ₅ -MN ₅	97,8	108,5	102,6	113,5
IA ₂₁ -MN ₅	106,2	118,7	114,0	126,8
IA ₄₂ -MN ₅	115,2	131,9	126,4	143,5

1. F_{IA} = Fertilidad en IA. F_{MN} = Fertilidad en MN.

CUADRO 5
FERTILIDAD NECESARIA EN IA PARA OBTENER EL MISMO BENEFICIO QUE EN MN PARA UN SERVICIO DE INSEMINACIÓN DE 120 PTAS.

Manejo	Fertilidades ¹			
	F _{IA} =0,65	F _{IA} =0,70	F _{IA} =0,75	F _{IA} =0,80
IA _S -MN _S	74,8	77,5	80,3	83,1
IA ₂₁ -MN _S	71,7	73,6	75,5	77,4
IA ₄₂ -MN _S	68,1	69,8	71,4	73,1

1. F_{IA}= Fertilidad en IA. F_{MN}= Fertilidad en MN.

la. Los resultados del cuadro 5 indican la fertilidad necesaria con la IA para obtener el mismo beneficio que con la MN. Por ejemplo, para una fertilidad en MN del 65% y un manejo semanal, el cunicultor obtendrá el mismo beneficio que obtenía con la MN si la fertilidad por inseminación es del 74,8%. Por tanto, el umbral de rentabilidad está determinado, para este caso en concreto, en una fertilidad en IA igual a 74,8%. Valores superiores de fertilidad implicarían un beneficio adicional y valores inferiores pérdidas adicionales de la IA frente a la MN.

2.2. Umbral de precio de venta

Un parámetro importante en el estudio económico es el precio de venta. Es importante conocer, para un precio de venta fijo en MN de 230 ptas./kg, qué precio de venta debería pagarse por una recogida cada 21 días o cada 42 días, para que el cunicultor obtenga el mismo beneficio que con la MN. Con bandas más amplias el matadero recoge el mismo volumen de animales en menos viajes. El menor coste en transporte por parte del matadero justifica un mayor precio percibido por el cunicultor. Estos valores están reflejados en el cuadro 6.

De tal manera que por una recogida cada 21 días, el precio al sacrificio del kilogramo de carne tendría que ser de 231,4 ptas., cuando el cunicultor insemina cada 21 días con una fertilidad del 70% y no 230 ptas., para de esta manera obtener igual beneficio que con la MN semanal con una fertilidad del 75%. Este valor del precio de venta marca el umbral para este caso concreto, por tanto valores por encima de él producirán un beneficio extra y valores por debajo una pérdida extra.

La variación en el precio de venta con respecto a la recogida semanal es de -0,6 a 1,4 ptas. para una banda a 21 días, y de -2,1 a 0,5 para una banda a 42 días.

2.3. Ahorro en mano de obra

La organización de la granja en un manejo en banda única produce para el granjero un ahorro en mano de obra con respecto a un banda semanal, que algunos autores cifran en un 40% (LEYÚN y OSCOZ, 1996). Sin embargo, las cifras referentes a la mano de obra en la bibliografía, son escasas y poco justificadas. Este aspecto, es especialmente importante porque los resultados expuestos en los cuadros son muy sensibles a cambios pequeños en el ahorro en mano

CUADRO 6
UMBRALES DE PRECIO DE VENTA (PTAS./KG) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE
MANEJO Y DE LA FERTILIDAD

Manejo	Fertilidades ¹			
	$F_{IA}=0.70$ $F_{MN}=0.75$	$F_{IA}=0.75$ $F_{MN}=0.75$	$F_{IA}=0.75$ $F_{MN}=0.80$	$F_{IA}=0.80$ $F_{MN}=0.80$
IA ₂₁ -MN _S	231,4	230,1	230,6	229,4
IA ₄₂ -MN _S	230,5	228,9	229,4	227,9

de obra y en las unidades trabajo hombre (UTH) consideradas.

El ahorro en mano de obra que debe representar para el cunicultor, el hecho de cambiar la organización de su granja, de un manejo semanal con monta natural a una banda a 21 o 42 días con inseminación artificial, para obtener el mismo beneficio, aparece en el cuadro 7. Los valores se representan en función de la fertilidad y están comprendidos en un intervalo de 18-22% con banda a 21 días y de 21-25% en banda a 42 días.

Generalmente, este ahorro en mano de obra repercute en el cunicultor en una mayor dedicación a su explotación o en un aumento en el tamaño de la explotación porque el tiempo de trabajo anual por hembra disminuye (Tudela, 1996).

3. Tamaño de la explotación

El cuadro 8 muestra los resultados de la IA frente a la MN para diferentes tamaños de la explotación y fertilidades. Los valores positivos indican ganancia y los negativos pérdidas de la IA frente a la MN.

El beneficio adicional a la semana es negativo para cualquier tamaño de la ex-

plotación cuando las fertilidades son bajas pero son positivas cuando las fertilidades aumentan.

La robustez de los resultados con respecto al tamaño de la explotación es debido a que los costes fijos asociados a la IA (amortización del equipo de inseminación, cuadro 1) son muy bajos comparados con los costes variables (tratamientos hormonales y pipetas de plástico, básicamente, cuadro 1). Hoy en día los tratamientos hormonales son muy caros y es necesaria una reducción importante de éstos en el mercado.

Conclusión

Actualmente teniendo en cuenta el precio comercial de las dosis de semen es conveniente que el granjero realice la inseminación con machos de la propia granja. Esta conclusión es equivalente a la obtenida por ROCA (1996) en España y *Amboini et al.* (1996) en Italia, sin embargo en el análisis realizado se ha asociado la IA con la utilización de animales pertenecientes a un programa de selección.

El inconveniente de tipo económico que presenta la inseminación artificial no son

CUADRO 7
UMBRAL DE AHORRO EN MANO DE OBRA (%) PARA DIFERENTES BANDAS DE
MANEJO Y FERTILIDADES

Manejo	Fertilidades ¹			
	$F_{IA}=0,70$ $F_{MN}=0,75$	$F_{IA}=0,75$ $F_{MN}=0,75$	$F_{IA}=0,75$ $F_{MN}=0,80$	$F_{IA}=0,80$ $F_{MN}=0,80$
IA ₂₁ -MN ₅	22.4	20.2	20.0	18.9
IA42-MNS	25.7	23.2	24.1	21.6

CUADRO 8
EFECTO DEL TAMAÑO DE LA EXPLOTACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS
FERTILIDADES Y PARA UN MANEJO EN BANDA A 42 DÍAS

N.º jaulas ¹	Fertilidades ²			
	$F_{IA}=0.70$ $F_{MN}=0.75$	$F_{IA}=0.75$ $F_{MN}=0.75$	$F_{IA}=0.75$ $F_{MN}=0.80$	$F_{IA}=0.80$ $F_{MN}=0.80$
700	-755 ³	1.862	997	3.673
1.000	-1.079	2.660	1.424	5.248
1.500	-1.618	3.990	2.136	7.872

1. Número de jaulas en la explotación (machos y hembras).

2. FIA= Fertilidad en IA. FMN= Fertilidad en MN.

3. Diferencia entre el beneficio obtenido con la IA con banda a 42 días y con la MN semanal, en ptas./semana.

sus costes fijos, que son bajos, sino los costes asociados a los tratamientos hormonales. Mientras que la principal ventaja de la inseminación artificial es la utilización de animales de alto valor genético, que produzca un mayor crecimiento de los gazapos en el engorde.

Es imprescindible que las bandas amplias de 21 ó 42 días se apliquen junto con la inseminación, pero la ventaja económica que se produce es debido al cambio de banda y no a la inseminación.

Agradecimientos

Los autores agradecen su colaboración a J.S. Vicente, F. García-Ximénez, M. Baselga y C. Torres.

Bibliografía

AMBOINI M., GRILLI G., LUZZI F., 1996. La inseminación artificial rutinaria: perspectivas para la cunicultura intensiva. XXI Symposium de Cunicultura. Amposta.

- ASOCIACION ESPAÑOLA DE CUNICULTURA. 1996. Evolución de los precios medios del conejo (ptas./kg. p.v.). Boletín de Cunicultura 83: 73.
- CASTELLINI C., 1995. Management of reproduction in rabbit does. VII Jornada Técnica sobre Cunicultura: 17-28. Barcelona.
- CASTELLINI C., 1996. Recent advances in rabbit artificial insemination. VI Congreso Mundial de Cunicultura. Vol. 2: 13-26.
- ESTAMY J., CAMACHO J., BASELGA M., BLASCO A. 1992. Selection response of growth rate in rabbits for meat production. Genet. Sel. Evol. 24: 527-537.
- KOEHL P.F., MIRABITO L., 1996. Tiempo de trabajo en explotaciones con manejo en bandas. Cuniculture XXIII, Vol. 4: 165-167.
- LEYÚN M., OSCOZ A., 1996. Estudio económico comparado de la monta natural y de inseminación artificial en banda única. Jornadas Profesionales de Cunicultura. Especial Reproducción. Sitges.
- MUGUERZA T., GOLDARAZENA J., PFTRAJONDA M., LEYÚN M., 1996. Resultados de experimentación-demonstración de la inseminación artificial en banda única en conejos. XXI Symposium de Cunicultura. Amposta.
- ROCA T., 1996. Aproximación al coste de la cubrición en cunicultura. Boletín de Cunicultura 83: 52-54.
- RODRÍGUEZ DE LARA R., 1996. Recomendación práctica de una técnica de inseminación artificial en conejos aplicado a granjas comerciales. XXI Symposium de Cunicultura. Amposta.
- ROSELL J.M., 1995. Cunicultura y veterinaria en España. La situación en 1995 y las perspectivas de futuro. Guía de veterinaria de Catalunya. Consell Col. Vet. Cat. ed: 200-207.
- TORRES C., CIFRE J., TORRES R., 1997. Reposición y adquisición de reproductores. Mundo Ganadero. 93: 58-62.
- TUDELA F., 1996. La evolución del manejo. Jornadas Profesionales de Cunicultura. Especial Reproducción. Sitges.

(Aceptado para publicación el 9 de febrero de 1998)

CONCESIÓN DEL PREMIO PRENSA AGRARIA 1997 DE A.I.D.A.

Presidente

Leonardo Plana Claver

Vocales

Álvaro Blanco Braña

Miguel Valls Ortiz

Rafael Gella Fañanas

Secretario

Pere Albertí Lasalle

Reunido el Jurado del Premio 1996 de Prensa Agraria de AIDA formado por D. Leonardo Plana Claver (presidente de AIDA) y los directores de la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), del Instituto Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ) y del Servicio de Investigación Agroalimentaria (DGA), actuando como secretario el director de ITEA, tal como establecen las bases de la convocatoria aprobadas en la Asamblea General de la Asociación, celebrada en mayo de 1983, acordó premiar entre los artículos publicados en ITEA durante el año 1997 a los siguientes:

Serie Producción Animal: "Análisis de las preferencias de los detallistas de jamón curado mediante el análisis conjunto", siendo sus autores: F.J. MESIAS, F. MARTÍNEZ-CARRASCO y L.M. ALBISU.

Serie Producción Vegetal: "Diagnóstico visual de la clorosis férrica", siendo sus autores: M. SANZ ENCINAS y L. MONTAÑÉS GARCÍA.

Zaragoza, 5 de mayo de 1998

RESULTADOS DE INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN EL MARCO DEL ESQUEMA DE SELECCIÓN POR PROLIFICIDAD EN LAS GANADERÍAS DE CARNEARAGÓN

E. Fantova

CH. Bru

E. Sevilla*

J. Quintín*

S. Congost**

J.L. Alabart***

J. Folch***

Carnearagón, S.C.L. Avda. Santa Isabel, 170

* Centro Nacional de Selección y de Reproducción Animal (CENSYRA)-DGA
Ctra. de Movera a Pastriz. Zaragoza

** Servicio de Formación y de Extensión Agroalimentarias (SFEA)-DGA
Montañana, 177. Zaragoza

*** Servicio de Investigación Agroalimentaria (SIA)-DGA
Montañana, 177. Zaragoza

España

RESUMEN

En este trabajo se resumen los resultados obtenidos en la inseminación de 2026 ovejas Rasa Aragonesa múltiparas. Se ha estudiado la influencia de: 1) la época del año, 2) intervalo entre el parto anterior y la inseminación, sobre los resultados reproductivos y sobre la condición corporal, así como, 3) duración del tratamiento progestativo, sobre los resultados reproductivos. Las ovejas fueron tratadas con esponjas de 30 mg de FGA durante 12, 13 ó 14 días y 480 U.I. de PMSG a la retirada de la esponja. La inseminación se realizó por vía cervical 56 ± 1 horas tras la retirada de las esponjas con semen refrigerado a 15°C. Se utilizó semen de motilidad superior a 4 y con más del 75% de espermatozoides vivos. Se eliminaron de los cálculos 38 ovejas debido a su valoración negativa en las anotaciones de los inseminadores. La fertilidad de éstas fue menor que la de las restantes (13 vs 48%; $P < 0,05$). La fertilidad fue similar en las ovejas inseminadas durante los tres primeros semestres del estudio (57,4%, 53,6% y 53,4%, respectivamente) pero disminuyó significativamente en el segundo

Una versión reducida de este trabajo se presentó en las *XXI Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia*. Logroño, 3-5 de octubre, 1996.

semestre de 1995 (33.1%; $P < 0.05$). Esto fue debido, posiblemente, a que la condición corporal de las ovejas fue menor durante este período que en los anteriores (2.9; 2.9; 3.0 vs 2.6; $P < 0.01$). En las ovejas cuyo intervalo parto-inseminación fue menor de 60 días (rango de 40 a 55 días), la fertilidad fue más de 10 puntos inferior y la condición corporal fue significativamente más baja. Se concluye que se debe prestar especial atención a las condiciones de las ovejas que vayan a ser inseminadas cervicalmente con el fin de mejorar los resultados reproductivos en dichas ovejas.

Palabras clave: Ovino, Semen, Cooperativa, Mejora genética, Reproducción.

SUMMARY

RESULTS OF ARTIFICIAL INSEMINATION APPLIED TO THE SELECTION SCHEME FOR PROLIFICACY IN CARNEARAGÓN COOPERATIVE FARMS

This work summarizes the results from cervical artificial insemination of 2,026 multiparous Rasa Aragonesa ewes. The influence of: 1) period of the year, 2) interval from last lambing to insemination, on the reproductive performance and body condition score of these ewes has been studied, as soon as the influence of: 3) the length of progestagen treatment on reproductive performance of ewes. Ewes were treated with FGA sponges for 12, 13 or 14 days, and 480 I.U. of PMSG at sponge withdrawal. Cervical insemination was carried out 56±1 hours after sponge withdrawal with fresh semen kept at 15°C. Sperm motility score and viability were higher than 4 and 75%, respectively. Thirty-eight inseminated ewes were excluded for the study in base of the negative observations recorded by the inseminator. Fertility of these ewes was lower than the remaining ones (13 vs. 48%; $P < 0.05$). Fertility was similar in ewes inseminated during the three first half-year periods (57.4, 53.6 and 53.4%, respectively) while was significantly lower in the second half of 1995 (33.1%; $P < 0.05$). This effect could be due to the lower body condition score of females in that period in comparison to the previous ones (2.6 vs 2.9, 2.9 and 3.0; $P < 0.01$). Body condition score was significantly lowered in ewes with intervals from lambing to insemination shorter than 60 days (range from 40 to 55 days). Fertility was also 10 points lower in these ewes. The length of sponge treatment did not influence fertility or prolificacy. It is concluded that special attention must be paid to the state of the ewes to be cervically inseminated in order to improve reproductive results in these ewes.

Key words: Ovine, Semen, Cooperative organization, Animal breeding, Reproduction.

Introducción

Desde 1994, la cooperativa Carnearagón desarrolla un programa de selección genética por prolificidad en las ganaderías de sus asociados. El programa está basado en la conexión de rebaños mediante inseminación artificial (IA) y en la selección de

reproductores en función de su mérito genético obtenido mediante metodología BLUP modelo animal. Dicho Programa se desarrolla gracias a la existencia de convenios de colaboración que tiene Carnearagón con la Diputación General de Aragón (DGA) y con el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA). La DGA se encarga de los aspectos técnicos de marcado de anima-

les (SFEA), tratamiento de los datos (SFEA), preparación de dosis seminales (CENSY-RA) y seguimiento de los aspectos reproductivos (SIA). El INIA se encarga de la valoración genética de los reproductores (JURADO y ESPINOSA, 1996). El control de los datos, los tratamientos hormonales de las ovejas y las inseminaciones, son realizados por los técnicos de la cooperativa.

El éxito del esquema y la velocidad del progreso genético se basan en gran medida en la obtención de buenos resultados en la IA. Se presentan en este trabajo los resultados obtenidos en las inseminaciones realizadas durante los dos primeros años del Esquema, y se relacionan con la época del año, las características de las ovejas, y la duración del tratamiento progestágeno. El objetivo final es determinar posibles factores que condicionan la fertilidad después de la IA, con el fin de mejorar los resultados.

Material y métodos

Animales

Se utilizaron 2.026 ovejas pertenecientes a 32 ganaderías: 20 de Zaragoza, 9 de Huesca y 3 de Teruel. Las ganaderías estaban sometidas a un régimen de explotación semiextensivo. Eran de tamaño y nivel técnico medios, explotaban ovejas únicamente de raza Rasa Aragonesa y cumplían las condiciones que exige el esquema de selección de Carne Aragón.

Las ovejas inseminadas eran de raza Rasa Aragonesa, adultas, múltiparas, y normalmente sometidas a un ritmo de tres partos cada dos años, manteniendo un intervalo mínimo de 40 días entre la inseminación y el parto anterior.

La elección de los animales a inseminar fue realizada por el técnico inseminador. No se inseminaron las ovejas viejas, abortadas, con problemas reproductivos o de condiciones corporales extremas. Otras ovejas en las que el técnico observó la presencia de vaginitis, metritis, suciedad vaginal, lactación, o problemas en el momento de la inseminación fueron inseminadas pero se anotaron dichas incidencias. Los lotes de inseminación estaban constituidos por 25 a 50 ovejas.

Tratamientos hormonales

Las ovejas fueron tratadas con esponjas impregnadas de 30 mg de Acetato de Fluorogestona (FGA) (Intervet, S.A.).

Las esponjas se mantuvieron durante 12, 13 ó 14 días, según las conveniencias laborales de técnicos y ganaderos. Al retirar las esponjas, se aplicaron 480 U.I. de PMSG. Los tratamientos fueron realizados por un técnico.

Tipo de machos y preparación del semen

Se utilizaron 25 machos Rasa Aragonesa, mayores de 3 años que fueron entrenados para la recogida de semen con vagina artificial. En las inseminaciones realizadas durante el segundo semestre de 1995, los machos tenían menos de 14 meses de edad.

Se utilizó semen de motilidad masal superior a 4 que tuviese menos del 25% de morfoanomalías y más del 75% de espermatozoides vivos. El semen fue diluido mediante un diluyente a base de TES/TRIS con 6% de yema de huevo y 3% de glicerol (VÁZQUEZ, Com. pers.). A continuación, fue

acondicionado en pajuelas de 0,25 ml que contenían 400 millones de espermatozoides. Desde la recogida del semen hasta su aplicación transcurrieron 6 horas como máximo. Durante este periodo, las pajuelas se mantuvieron a 15°C.

4. Inseminaciones

La IA se realizó a las 56 ± 1 horas de retirar las esponjas. Se tomaron los siguientes controles:

- Observaciones in situ del inseminador.
- Condición corporal de las ovejas (RTISSEL *et al.*, 1969).
- Intervalo del parto anterior a la inseminación.

Estudio de los resultados y análisis estadístico

Las variables estudiadas fueron: fertilidad, prolificidad y condición corporal. Los factores de variación considerados fueron: época del año, duración del tratamiento progestativo (12, 13 ó 14 días) e intervalo desde el parto anterior a la inseminación. Para el estudio no se consideraron las ovejas definidas como problemáticas por el inseminador. Para estudiar la influencia de

la época del año, las inseminaciones se agruparon por semestres naturales. Para estudiar el efecto del tipo de tratamiento y de la duración del mismo, sólo se consideraron los datos de las ganaderías que habían utilizado ambos tratamientos en el mismo día de IA y sólo se consideraron los resultados obtenidos en los tres primeros semestres. El estudio del efecto del intervalo del parto anterior a la inseminación se realizó sobre 740 ovejas en las que se conocía este dato. Las ovejas se agruparon en 4 categorías correspondientes a intervalos de menos de 60, entre 60 y 66, entre 66 y 74 y más de 74 días, respectivamente.

Los resultados de fertilidad y de prolificidad se compararon mediante la prueba de Chi cuadrado. Los efectos de la época del año y del intervalo parto anterior-inseminación sobre la condición corporal se analizaron mediante ANOVA de una sola vía y las medias se compararon mediante el test de Duncan.

Resultados y discusión

Resultados reproductivos

Los resultados se muestran en el cuadro 1. Las 38 ovejas que fueron consideradas

CUADRO I
RESULTADOS REPRODUCTIVOS DE OVEJAS INSEMINADAS Y QUE TENÍAN (O NO) ANOTACIONES NEGATIVAS POR PARTE DEL INSEMINADOR

TABLE I
REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF INSEMINATED EWES HAVING NEGATIVE OBSERVATIONS RECORDED BY THE INSEMINATOR OR NOT

Tipo de oveja	N.º	Fertilidad	Prolificidad
Sin observaciones	1996	48	159
Con observaciones negativas	38	13 **	100 *

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$

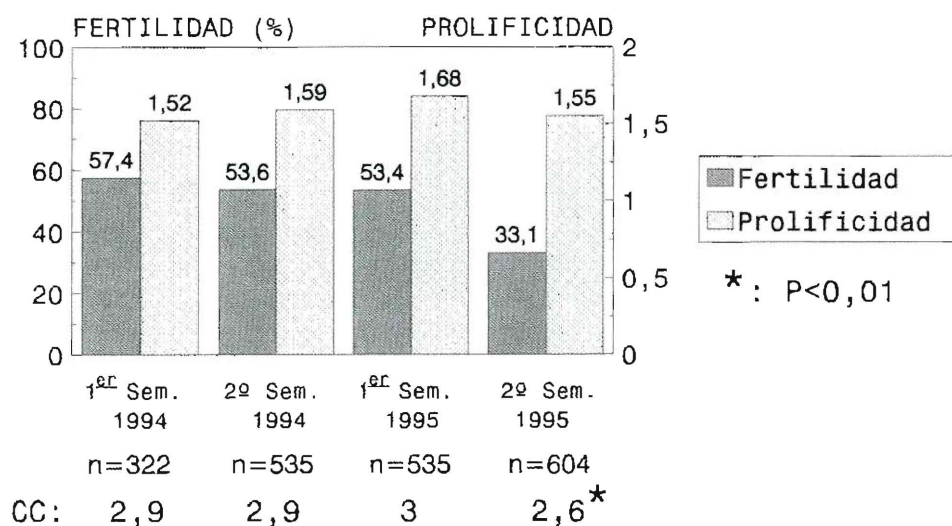
problemáticas tuvieron una fertilidad significativamente menor que las restantes ovejas inseminadas. La eliminación de este tipo de animales de los lotes de inseminación, es, por tanto, uno de los factores que influyen en los resultados y que deben ser tomados en cuenta en el momento de hacer los lotes de inseminación.

La fertilidad obtenida (48%) es ligeramente superior a la conseguida en las razas lecheras Churra (FUENTE *et al.*, 1995) Lataxa (UGARTE *et al.*, 1995) y Manchega (MONTORO, 1995). Sin embargo, en ganaderías de carne Rasa Navarra (CASTILLO, com. per.) o de Lacaune de carne (ANIO, 1996) la fertilidad no suele ser inferior al 60%. La tecnología de IA utilizada en dichas razas es prácticamente la misma que la empleada en el presente trabajo. Por tanto, la diferencia de resultados probablemente

se deba a la mayor experiencia de los ganaderos y técnicos (principalmente en el caso de Francia) y al distinto grado de intensificación de la reproducción a que son sometidas las ovejas en Aragón y Navarra o Francia. Por otro lado, en el presente trabajo se utilizó un diluyente seminal (TEST-glicerol) distinto que en las otras razas (leche descremada-COLAS *et al.*, 1973). Es posible que el tipo de diluyente seminal empleado haya repercutido en el poder fecundante de las dosis seminales.

Época del año y condición corporal

No hubo diferencia significativa en la fertilidad ni en la prolificidad obtenidas en los tres primeros semestres. Sin embargo, la fertilidad disminuyó significativamente en el segundo semestre de 1995 (figura 1).



n: número de ovejas inseminadas. CC: Condición corporal.

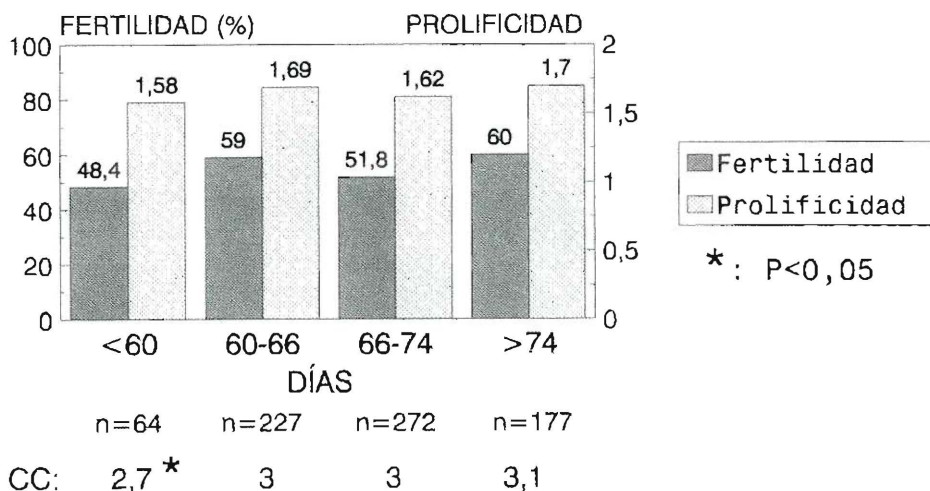
Figura 1. Fertilidad y prolificidad de las ovejas inseminadas por semestres naturales durante 1994 y 1995

Figure 1. Fertility and prolificacy of inseminated ewes by half-yearly periods of 1994 and 1995

La menor fertilidad del segundo semestre de 1995 se produce en la época en la que, normalmente, los resultados de fertilidad de la IA ovina son más altos (COLAS, 1984). La baja fertilidad no puede, por tanto, atribuirse a un efecto de la estación. Es posible que una de las causas haya sido el haber utilizado durante el semestre considerado machos más jóvenes que en los restantes períodos y, por tanto de un menor capacidad fecundante (COLAS y COUROT, 1977). Más probablemente, la causa de la baja fertilidad radique en que las ovejas presentaban una condición corporal significativamente más baja. El efecto negativo de una condición corporal deficiente sobre la fertilidad de las ovejas inseminadas ha sido puesto de manifiesto anteriormente en esta

misma raza (BRU *et al.*, 1995) y en la raza manchega (MONTORO, 1995).

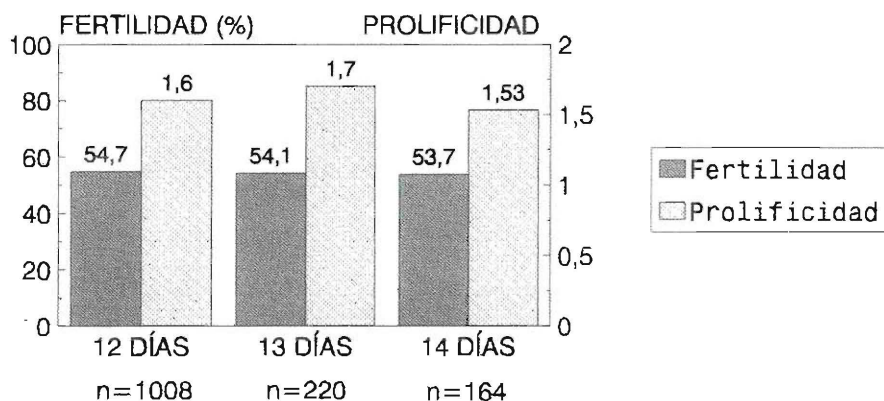
El grupo cuyo intervalo fue menor de 60 días presentó una menor condición corporal respecto de los otros grupos (2,7 vs 3,0; 3,0 y 3,1; $P < 0,05$; figura 2), así como una fertilidad más baja, aunque las diferencias no fueron significativas debido al bajo número de animales en dicho grupo. Ello está de acuerdo con los resultados obtenidos en esta misma raza por GABIÑA y FOLCH (1987) y por otros autores en razas europeas. Es posible que este efecto no sea muy importante a partir de una duración mínima cuando las ovejas tienen una condición corporal aceptable, como ocurre en el presente estudio. También es posible que el rango de los intervalos considerados en el presente tra-



n: número de ovejas inseminadas. CC: Condición corporal.

Figura 2. Fertilidad y prolificidad de las ovejas inseminadas en función de los días transcurridos entre el parto anterior y la inseminación

Figure 2. Fertility and prolificacy of inseminated ewes by groups of different intervals from the previous lambing to insemination



n: número de ovejas inseminadas.

Figura 3. Fertilidad y prolificidad de ovejas inseminadas en función de la duración del tratamiento progestativo

Figure 3. Fertility and prolificacy of inseminated ewes after different lengths of progestagen treatment

bajo (entre 40 y 90 días; el 90% estaban comprendidas entre 55 y 85 días) no sea suficientemente amplio como para mostrar diferencias significativas en resultados reproductivos.

Duración del tratamiento

No se ha puesto de manifiesto un efecto de la duración del tratamiento (figura 3) sobre la fertilidad ni sobre la prolificidad.

En conclusión, los resultados de IA obtenidos durante los dos primeros años de desarrollo del esquema de selección son inferiores a los obtenidos en razas de carne seleccionadas también por prolificidad, principalmente en Francia. En el presente trabajo hemos puesto de manifiesto la necesidad de no introducir animales problemáticos en los lotes de inseminación y se han corroborado los efectos negativos sobre la fertilidad de una condición corpo-

ral deficiente y de un intervalo parto-inseminación excesivamente corto. Otros factores estudiados, como el tipo de tratamiento progestativo y su duración, no han tenido efecto sobre los resultados reproductivos en las condiciones estudiadas. En la raza Manchega se ha demostrado que los factores más influyentes en los resultados están ligados al tipo de ganadería (manejo, experiencia, etc.) y localización (MONTORO, 1995). Con vistas a incrementar los resultados de la inseminación, deben mejorarse las condiciones de manejo de las ganaderías más deficientes y no inseminar a las ovejas de condición corporal baja o de intervalo al parto anterior inferior a 60 días.

Bibliografía

- ANIO. 1996. Compte rendu annuel de l'insemination artificielle ovine. Campagne 1995. Ed.: Institut de l'élevage. 31321 Costanet Tolosan, Francia.

- BRU C.H., FANTOVA E., SEVILLA E., QUINTÍN F.J., FOLCH J., ALABART J.L., 1995. Resultados de inseminación artificial de las ovejas Rasa Aragonesa en las ganaderías de Carne Aragón, S.C.L. Influencia de la condición corporal. Jornadas de la S.E.O.C.
- COLAS G., 1984. Semen technology in the ram. In Courot, M. Ed., The male in farm animal reproduction. Colloque CEE, 6-7 octobre 1983, Nouzilly, France. Martinus Nijhoff, La Haye. 219-236.
- COLAS G., COUROT M., 1977. Production of spermatozoa, storage of semen and AI in the sheep. Proc. of Management in sheep and goat Symposium (Madison), 31-40.
- COLAS G., THIMONIER J., COUROT M., ORTAVANT, R., 1973. Fertilité, prolificité et fécondité pendant la saison sexuelle des brebis inséminées artificiellement après traitement à l'acétate de fluorogestone. Ann. Zootech., 22: 441-451.
- FENTE D.F., BARO J.A., SAN PRIMITIVO F., 1995. Breeding programme for the spanish Churra sheep breed. Cahiers Options Méditerranéennes. Vol. II: 173-184. Ed. CIHEAM, Zaragoza.
- GABIÑA D., FOLCH J., 1987. La inseminación artificial ovina. Resultados de su aplicación en un programa de selección en la raza Rasa Aragonesa. ITEA, 68: 15-25.
- JURADO J.J., ESPINOSA M.J., 1996. Problemática del desarrollo de un programa de mejora genética en prolificidad en la raza Rasa Aragonesa. ITEA, Vol. 92A, n.º 3: 44-56.
- MONTORO V., 1995. La inseminación artificial con semen refrigerado en el esquema de selección de la raza ovina Manchega. Tesis Doctoral. Univ. de Córdoba. 148.
- RUSSEL A.J.F., DONEY J.M., GUNN R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live Sheep. J. Agric. Sci. Camb., 72: 451-454.
- UGARTE E., URARTE E., ARRANZ J., ARRESE F., BULTRÁN I., OREGUI L.M., BRAVO M.V., GABIÑA D., 1995. Estructura y organización técnica del programa de mejora genética y selección de las ovejas de razas Latxa y Carranzana en la Comunidad Autónoma del País Vasco. 18 pp. Granja Modelo de Arkaute (Alava).

(Aceptado para publicación el 19 de febrero de 1998)

DETERMINACIÓN DE LA ENTRADA EN PUBERTAD EN CABRAS BLANCAS CELTIBÉRICAS NACIDAS EN OTOÑO MEDIANTE OBSERVACIÓN DE CELOS Y ANÁLISIS DE PROGESTERONA

L. Torrano

J. Valderrábano

Servicio de Investigación Agroalimentaria
Apdo. 727. 50080 Zaragoza

España

RESUMEN

La entrada en pubertad de la cabra Blanca Celtibérica se evaluó sobre un grupo de 34 chotas nacidas en otoño a partir de la evolución de la secreción de progesterona plasmática y el comportamiento de celo desde los 6 meses hasta los 11 meses de edad.

Veintiséis chotas (76,5%) alcanzaron la pubertad durante el período de estudio. El 80,8% de los animales cíclicos presentó un ciclo inicial de duración normal (20,6 días) con comportamiento de celo asociado a la primera ovulación en la mayoría de los animales. El 15,4% de las chotas cíclicas presentó un ciclo ovárico inicial de corta duración (8,7 días de separación de dos celos consecutivos) previo a un ciclo normal.

El peso medio de los animales cíclicos en el momento de alcanzar la pubertad fue de $28,3 \pm 0,59$ kg PV, significativamente superior ($p < 0,001$) al peso al final del estudio (11 meses de edad) de las chotas que quedan impúberes ($22,2 \pm 0,91$ kg PV). El solapamiento de estas dos poblaciones indica la exigencia de un peso mínimo de $24,4 \pm 0,51$ kg PV con un intervalo de confianza del 95% para llegar a la pubertad. El comienzo de la ciclicidad se alcanzó a una edad media de $306 \pm 3,5$ días (10 meses), en los meses de Septiembre y Octubre, coincidiendo con la época reproductiva del ganado caprino adulto. Estos resultados sugieren una interdependencia entre tamaño corporal y fotoperíodo en la cabra Blanca Celtibérica para poder alcanzar la pubertad, lo que conlleva ventajas de manejo en la cría de las chotas nacidas en otoño al evitarse gestaciones precoces tras la introducción de machos en la cubrición de primavera.

Palabras clave: Caprino. Madurez sexual. Ciclicidad. Fotoperíodo.

SUMMARY

DETERMINATION OF THE ONSET OF PUBERTY IN AUTUMN-BORN BLANCA CELTIBERICA GOATS FROM OESTRUS BEHAVIOUR AND PROGESTERONE ANALYSIS

The onset of puberty in Blanca Celtibérica goat was evaluated in 34 autumn-born female kids by plasma progesterone determinations and oestrus behaviour from 6 to 11 months of age.

Twenty-six kids attained puberty for the study period. An 80.8% of cyclic animals had a first cycle of normal duration (20.6 days) with oestrus behaviour at first ovulation for the majority of kids. A 15.4% of cyclic kids showed an initial ovarian cycle of short duration (8.7 days between two consecutive oestrus) before a normal oestral cycle.

Mean liveweight of cyclic goats at puberty (28.3 ± 0.59 kg LW) was significantly higher ($p < 0.001$) than that of the animals that did not attained puberty by the end of the study (22.2 ± 0.91 kg LW). Liveweight overlapping of the two populations suggests that a minimum 24.4 ± 0.51 kg body weight, with a 95% confidence interval, is required to Blanca Celtibérica goats to reach puberty. Puberty was reached at 10 months (306 ± 3.5 days) of age in autumn, when adult goats are in breeding season. These results suggest a body size-photoperiod interaction in Blanca Celtibérica goats to attain puberty and this interdependence provides management advantages to prevent precocious pregnancies in autumn-born kids at the next spring mating.

Key words: Caprine. Sexual maturity. Cyclicity. Photoperiod.

Introducción

En condiciones de clima templado, las señales nutritivas y el fotoperíodo actúan en armonía para sincronizar la activación generadora de pulsos de GnRH en el cerebro que dan lugar, en las especies animales estacionales, a la aparición de la pubertad. Estas señales aseguran que dentro de las limitaciones impuestas por los cambios circunales del medio, el tamaño corporal al inicio de la pubertad sea apropiado para garantizar el éxito del proceso reproductivo (CLARE y ROBINSON, 1994).

La interdependencia entre tamaño corporal y estación reproductiva para alcanzar la pubertad se hace muy evidente en el caso de genotipos muy estacionales, como la cabra de Angora. En esta raza, la pubertad aparece, generalmente, en el segundo otoño, pero con crecimientos rápidos en los primeros meses de vida, la pubertad se manifiesta en el primer otoño (VALDERRABANO, datos sin publicar). En condiciones naturales, los partos de la mayoría de las razas caprinas en zonas templadas tienen lugar en primavera, durante los períodos de luz creciente, y la pubertad tiene lugar, ge-

neralmente, a edades relativamente tempranas durante los períodos de luz decreciente del primer otoño. En el caso de razas explotadas en condiciones extensivas, como la cabra Blanca Celtibérica, los ganaderos tienden a concentrar los partos en otoño para beneficiarse de los mejores precios del mercado de cabritos a final del año. En estas condiciones de explotación, resulta de especial interés determinar el inicio de la actividad reproductiva en las hembras de reposición así como los factores a los que va asociado, debido a que las gestaciones precoces, que afectarían negativamente a la futura vida reproductiva del rebaño, suponen habitualmente una complicación en el manejo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el inicio de la pubertad en chotas de raza Blanca Celtibérica nacidas en otoño y su asociación con la evolución del peso vivo, la edad y el fotoperíodo.

Material y métodos

Este estudio se realizó en el Valle Medio del Ebro, situado a una altitud de 220 m y

con unas coordenadas de 41° 40' latitud N y 1° 10' de longitud E. La precipitación media anual es de 305 mm y la temperatura media anual en el área de estudio es 14,9 °C, con un rango medio de mínimas y máximas de -6 °C (febrero) a 39 °C (julio).

Se utilizaron 34 chotas de raza Blanca Celtibérica de 6 meses de edad y $19,9 \pm 0,59$ kg PV, nacidas en el mes de noviembre. El seguimiento se realizó desde el mes de mayo hasta el mes de octubre (11 meses de edad). Durante todo el período los animales permanecieron con un macho vasectomizado provisto de arnés marcador, determinándose el comportamiento de estro diariamente. Los animales estuvieron rotando por parcelas de alfalfa y polifitas, y recibían suplementación con heno y/o cebada cuando la disponibilidad forrajera de las praderas era escasa.

La aparición de la pubertad (inicio de la ciclicidad) se determinó mediante el análisis de progesterona plasmática. Para ello, se realizó una extracción de sangre semanal por punción en vena yugular, a lo largo de todo el período de estudio. La sangre se recogió mediante tubos de vacío heparinizados y el plasma recuperado postcentrifugación fue congelado a -20°C para su posterior análisis. La concentración de progesterona plasmática fue determinada por RIA utilizando Kits CoatRIA Biomerieux. La sensibilidad fue establecida en 0.05 ng/ml y los coeficientes de variación intra e interanálisis 15.3 y 18.6%, respectivamente (GARBAYO, 1990). Para cada animal se analizaron las muestras de plasma correspondientes a la época que presentaba celo (aproximadamente 10 muestras/animal, 4 antes y 6 después del primer celo). Cuando los animales no mostraron signos de celo se analizaron las muestras correspondientes al período de salida en celo de las chotas cíclicas y se extendió hasta el final del ensayo.

Se ha considerado como inicio de la ciclicidad la fecha de la muestra anterior a la primera en que la concentración de progesterona excedió 0,3 ng/ml a la que seguía un período de 5 muestras en el que no hubo dos consecutivas cuya concentración fuese inferior a 0,3 ng/ml. Las curvas medias de concentración de progesterona se construyeron a partir del muestreo considerado como inicio de la pubertad como fue definido antes.

Los animales fueron pesados al inicio del ensayo y posteriormente con una frecuencia de 14 días. La velocidad de crecimiento se calculó para el período comprendido entre los 6 meses de edad y la última fecha de pesada en que no hubo ninguna cabra púber mediante regresión lineal entre peso vivo y día.

Resultados

Veintiséis de las 34 chotas (76,5%) alcanzaron la pubertad durante el período de observación. La concentración de progesterona plasmática en las chotas que no entraron en ciclicidad permaneció en niveles basales ($0,05 \pm 0,008$ ng/ml, e inferior a 0,1 ng/ml) durante el ensayo. En los animales que alcanzaron la pubertad, las curvas construidas a partir de los niveles de progesterona plasmática muestran que los niveles basales previos a la entrada en ciclicidad se mantuvieron constantes, en torno a $0,05 \pm 0,005$ ng/ml y, se observaron dos tipos principales de patrones en el inicio de la pubertad. El 80,8% de las hembras cíclicas presentaron ciclos normales (figura 1), con un nivel máximo de progesterona de $1,38 \pm 0,108$ ng/ml y un intervalo entre el primer y segundo celo de $20,6 \pm 1,02$ días. En este grupo, hubo dos chotas que no

mostraron comportamiento de celo en todo el período y una chota no presentó celo en la primera ovulación, pero sí en la siguiente fase folicular.

Un segundo grupo de chotas, constituido por el 15,4% de los animales cíclicos, mostró un ligero aumento del nivel de progesterona ($0,13 \pm 0,021$ ng/ml) previo a un ciclo normal (nivel máximo de $1,42 \pm 0,280$ ng/ml); tres chotas de este grupo mostraron dos celos consecutivos separados por $8,7 \pm 1,20$ días en torno al ligero aumento de progesterona (figura 2), mientras que en un animal no se detectó celo en ningún momento.

Por último, un animal fue excepción a estos dos patrones descritos; durante 5 controles consecutivos presentó niveles de progesterona plasmática superiores a 1 ng/ml y únicamente mostró celo antes de la primera fecha con concentración de progesterona mayor de 1 ng/ml.

Los animales mostraron una buena agrupación en la llegada a la pubertad (figura 3). La pubertad se inició el 7 de septiembre en el 38,2% de los animales, a una edad de $295 \pm 2,5$ días y al final del ensayo, el 76,5% de los animales presentaron ciclicidad. La edad media de entrada en ciclicidad fue de $306 \pm 3,5$ días (10 meses), con un

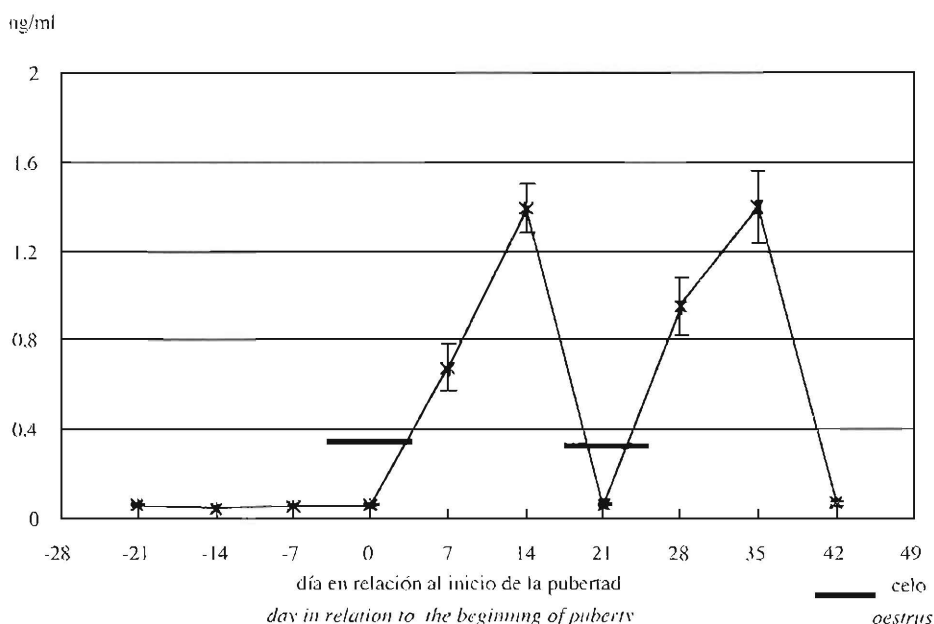


Figura 1. Evolución de la concentración de progesterona en chotas Blancas Celtibéricas que presentaron ciclos normales a la entrada en pubertad ($x \pm E.S.$)
 Figure 1. Evolution of progesterone concentration in Blanca Celtibérica goats showing normal cycles at the onset of puberty ($x \pm S.E.$)

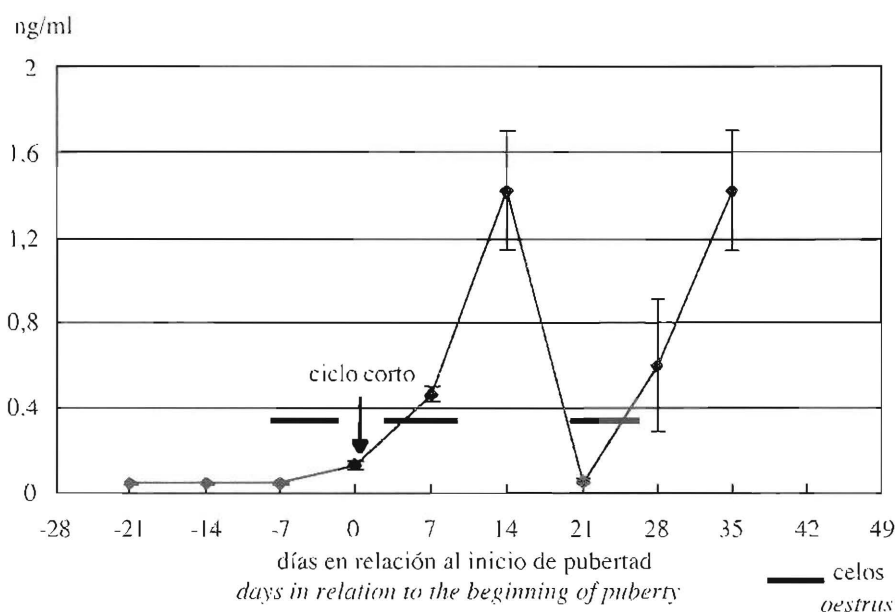


Figura 2. Evolución de la concentración de progesterona en chotas Blancas Celtibéricas que presentaron un ciclo corto previo a un ciclo normal a la entrada en pubertad ($x \pm E.S.$)

Figure 2. Evolution of progesterone concentration in Blancas Celtibéricas goats showing a short cycle before a normal cycle at the onset of puberty ($x \pm E.S.$)

peso medio de $28,3 \pm 0,59$ kg PV. El peso vivo adulto de las cabras de esta raza se ha estimado en 52 kg PV, lo que indica que este grupo de chotas ha necesitado alcanzar de media el 54,4% del peso vivo adulto para iniciar la pubertad.

El peso medio al inicio del estudio y la ganancia media diaria desde el inicio del estudio hasta la fecha de la última pesada en que no hubo ninguna cabra púber en el grupo de chotas que alcanzaron la pubertad ($21,0 \pm 0,54$ kg PV y $76,9 \pm 6,46$ g/día) fueron significativamente superiores ($p < 0,001$ y $p < 0,1$) a los valores registrados en los animales que no alcanzaron la pubertad ($16,3 \pm 1,06$ kg PV y $54,9 \pm 10,02$ g/día).

Por tanto, en el momento en que se inicia la pubertad, el peso de las chotas que no entran en ciclicidad ($21,4 \pm 0,82$ kg PV) fue significativamente inferior ($p < 0,001$) al peso medio de las chotas púberes ($28,0 \pm 0,58$ kg PV), y dicha diferencia se mantuvo hasta el final del estudio (figura 3).

Con el fin de determinar el peso umbral a la entrada en pubertad, se analizó la población resultante del solapamiento de la población que mostró ciclicidad en el momento de alcanzar la pubertad y la formada por las hembras que se mantuvieron impúberes al final del ensayo. Esta nueva población presentó una distribución de pesos vivos entre 23 y 26 kg y la media fue

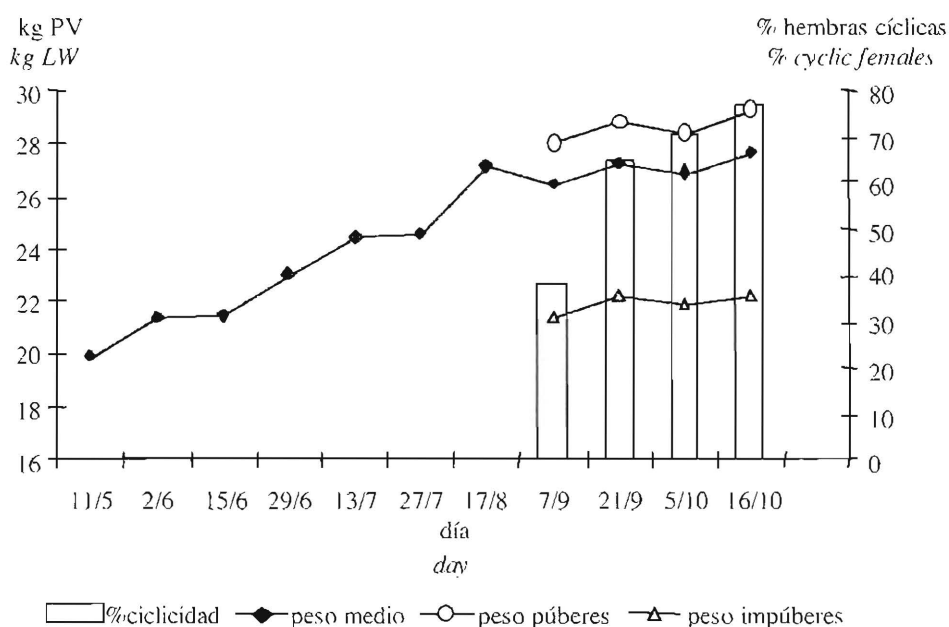


Figura 3. Evolución del peso vivo medio, peso de púberes, peso de impúberes y % acumulativo de hembras cíclicas

Figure 3. Evolution of mean liveweight, of cyclic and non cyclic females and accumulative percentage of cyclic ones

de $24,4 \pm 0,51$ kg PV con un intervalo de confianza del 95% de probabilidad.

Discusión

Los resultados obtenidos sugieren la existencia de dos patrones principales del ciclo estral en la entrada en la pubertad. En primer lugar, en la mayor parte de los animales en los que la pubertad se presentó a lo largo del estudio, se manifiesta un ciclo estral inicial de duración normal, con comportamiento de celo en la mayoría de las cabras en la primera ovulación. En un menor número de chotas púberes, el ligero aumento del nivel de progesterona plasmá-

tica previo a un incremento normal, unido al hecho de que 3 de las chotas mostraron dos celos consecutivos separados por un intervalo de 9 días en torno a dicho ligero aumento, sugiere la existencia de un ciclo corto previo a un ciclo normal en estos animales. La excepción señalada a estos dos patrones descritos (1 animal) podría reflejar un ciclo de duración larga o bien, podría enmascarar una fase folicular intermedia que el tipo de muestreo semanal no ha permitido detectar. No obstante, la manifestación de celo solamente en la primera ovulación parece sugerir que se ha producido un tipo de ciclo estral de duración superior a lo normal, descrito en el ganado caprino por RICORDEAU *et al.* (1984).

El bajo porcentaje de animales con ciclo corto previo al ciclo normal contrasta con un elevado porcentaje de cabras adultas que sometidas a "efecto macho" en anestro estacional presentaban inicialmente un ciclo corto tras el estímulo del macho en la raza Blanca Celtibérica (FOLCH *et al.*, 1993) y cabra de Angora (LORENZO *et al.*, 1996). La causa de cuerpos lúteos de corta duración parece ser una elevada concentración de receptores endometriales a la oxitocina debido a la escasez de progesterona por ausencia de fase lútea anterior (HUNTER, 1991), condición que se cumple en animales pre-púberes y en anestro estacional o de lactación. No obstante, en la cabra British Saanen, AMOAH y BRYANT (1984) observaron en el total de los animales púberes un primer ciclo normal en el momento de alcanzar la pubertad, sin estar precedido de ciclo corto. Tanto en nuestro estudio como en el de Amoah y Bryant, las chotas comenzaron a ciclar en plena época reproductiva del ganado adulto y una posible causa de la baja aparición de ciclos cortos podría ser una menor concentración de oxitocina, al haberse comprobado que la concentración de oxitocina disminuye conforme avanza la estación reproductiva (FREEMAN y CURRIE, 1985) o que el ritmo de tomas de sangre fue insuficiente para detectar dichos ciclos cortos.

El ganado caprino en zonas templadas presenta un anestro estacional que se extiende, generalmente, desde el mes de Marzo hasta Julio (LEITAO *et al.*, 1987; CHEMINEAU, 1981). El momento en que se alcanzó la pubertad en los animales de este estudio (Septiembre-Octubre) tuvo lugar en la época reproductiva del ganado caprino adulto, resultado que coincide con el obtenido por RICORDEAU *et al.* (1984) a partir de registros de explotaciones de cabras lecheras, quien determinó que el inicio de la

estación sexual de las chotas comenzaba entre fin de agosto y el principio de septiembre, 20-30 días después del inicio de la estación sexual en cabras adultas. Asimismo, chotas Serrana Portuguesa alcanzaban la pubertad entre fin de julio y comienzo de octubre (HORTA *et al.*, 1987) y cabras British Saanen, entre agosto y octubre (AMOAH y BRYANT, 1984). Esto sugiere, que en la raza Blanca Celtibérica, al igual que en otras razas caprinas, la pubertad ocurre generalmente durante la estación de reproducción de los animales adultos.

El peso vivo significativamente superior de los animales cíclicos respecto al peso del grupo de chotas que no alcanzaron la pubertad sugiere que en este ganado, como se ha señalado para otras razas caprinas (FASANYA *et al.*, 1992; WOLDE-MICHAEL *et al.*, 1989), un peso umbral de 24,4 kg (equivalente al 47% del peso vivo adulto) puede estar implicado en la llegada a la pubertad. El hecho de que el peso de las chotas que alcanzaron la pubertad fuera en algunos animales superior a este peso umbral, sugiere que el fotoperíodo ha podido limitar su entrada en pubertad con anterioridad. En este sentido, CLARE y ROBINSON (1994) señalan que para alcanzar la pubertad, ni las señales nutritivas o fotoperiódicas tienen prioridad, pero ambas son requeridas para tener estímulo.

Estos resultados sugieren que la cabra Blanca Celtibérica presenta una interdependencia entre tamaño corporal y fotoperíodo para alcanzar la pubertad. Las chotas nacidas en otoño pueden alcanzar la pubertad en el siguiente otoño si han alcanzado un peso vivo superior a $24,4 \pm 0,51$ kg en dicha época. Esta interacción fotoperíodo-peso vivo sugiere una importante ventaja en relación al manejo de estos animales, ya que la recría de las chotas nacidas en otoño puede realizarse con el resto del rebaño sin

que se produzcan gestaciones precoces tras la introducción de machos en la cubrición de primavera.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Jose Luis Alabart su constructiva discusión y sugerencias en la elaboración del manuscrito y a Pilar Sánchez, por la realización de las determinaciones hormonales. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA SC93-052.

Bibliografía

- AMOAH E.A., BRYANT M.J., 1984. Effect of pattern of lighting and time of birth on occurrence of puberty in female goat kids. *Anim. Prod.*, 38, 83-89.
- CHEMINEAU P., 1981. Eficiencia reproductiva de cabras de carne Criollas en asociación permanente con machos. *Proc. 8th Reun. Asoc. Lat. Am. Prod. Anim.*, Santo Domingo, abstr. F-50.
- CLARE L.A., ROBINSON J.J., 1994. The role of nutrition and photoperiod in the timing of puberty. *Proc. of the Nutr. Soc.*, 53, 89-102.
- FASANYA O.O.A., MOLOKWI E.C.I., EDUVIE L.O., DIM N.I., 1992. Dietary supplementation in the Savanna Brown goat. 1. Effect on attainment of puberty in the doe. *Anim. Repr. Sci.*, 29, 157-166.
- FOLCH J., GONZÁLEZ F., ALABART J.L., 1993. "Efecto macho" en cabras Blanca Celtibérica. *I.T.E.A.*, vol. extra, nº 12, 454-455.
- FREEMAN L.C., CURRIE W.B., 1985. Variation in the Oxytocin content of caprine corpora lutea across the breeding season. *Theriogenology*, 23(3), 481-486.
- GARBAUOP J.M., 1990. Relación entre concentración de progesterona plasmática y supervivencia embrionaria en la oveja. Tesis Master of Science C.I.H.E.A.M., junio 1990.
- HORTA A.E.M., RIBEIRO L., SANTOS P.F., 1987. Study of the onset of puberty in Serrana goats by plasma progesterone profiles-first approach. 38th Annual Meeting of the E.A.A.P., Lisboa, Portugal, 918-919.
- HUNTER M.G., 1991. Characteristics and causes of the inadequate corpus luteum. *J. Repr. Fert., Suppl.* 43, 91-99.
- LEITAO R.M., MAURICIO R., VASQUES M.I., 1987. Seasonal variation in the ovarian activity and sexual behaviour of Serrana goats. 38th Annual Meeting of the E.A.A.P., Lisboa, Portugal, 924-925.
- LORENZO I., ALABART J.L., VALDERRABANO J., 1996. Evolución de la concentración de progesterona plasmática y aparición de celos tras efecto macho en cabras de Angora en anestro estacional. *I.T.E.A.*, 92A(1), 3-9.
- RICORDEAU G., BOUILLON J., GAILLARD A., LAJOUS A., LAJOUS D., 1984. Modalités et caractéristiques de reproduction chez les caprins. Aspects génétiques. *Bull. tech. d'inform.*, 391, 367-381.
- WOLDE-MICHAEL T., MILLER H.M., HOMES J.H.G., MCGREGOR B.A., GALLOWAY D.D., 1989. Effect of supplementary feeding and zeranol on puberty in feral Cashmere goats. *Austr. Vet. J.*, 66(4), 124-126.

(Aceptado para publicación el 26 de febrero de 1998)

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LAS VACAS DE CRÍA EN COMUNIDADES VEGETALES DE MONTAÑA CONSTITUIDAS POR *AGROSTIS-FESTUCA-NARDUS-CALLUNA* Y DOMINADAS POR HERBÁCEAS

K. Osoro

M. Oliván

R. Celaya

Centro de Investigación Aplicada y Tecnología
Agroalimentaria (CIATA)

Apdo. 13. 33300

Villaviciosa, Asturias

RESUMEN

Durante cinco años (1990-1994) un total de 111 vacas de cría (87 con cría y 24 sin cría) de la raza Asturiana de Valles, con paridera en invierno (enero-marzo), fueron manejadas en pastoreo de verano (junio a septiembre) en pastos de montaña situados a 1700 m de altitud, constituidos fundamentalmente por las especies *Agrostis capillaris-Festuca rubra-Nardus stricta* y *Calluna vulgaris*, dominando las especies herbáceas en la cubierta vegetal. Las vacas sin cría fueron capaces de mantener su peso vivo y condición corporal en el conjunto de la estación de pastoreo, mientras que las vacas con cría en el total de la estación de pastoreo perdían peso y condición, fundamentalmente por la movilización de reservas en la segunda mitad del pastoreo (agosto-septiembre), cuando la disponibilidad de las herbáceas apetecibles (*Agrostis-Festuca*) era reducida (altura media de 2.82 cm). En el mismo sentido las ganancias de los terneros oscilaron entre 0.85 y 1.0 kg/día en la primera mitad del pastoreo (junio-agosto), mientras que en la segunda se redujeron a 0.50-0.65 kg/día. La producción de leche de las madres, que al inicio del pastoreo (junio) oscilaba entre 5.14 y 8.85 kg/día se redujo a niveles entre 1.79 y 3.63 kg/día en septiembre. La ingestión de materia seca digestible de pasto obtenida por las vacas disminuyó significativamente de junio a septiembre tanto en las vacas con cría (20.6 a 16.3 g/kg PV; $p<0.05$) como en las secas (22.9 a 16.9 g/kg PV; $p<0.01$). En el primer período de pastoreo la edad del ternero no afectó significativamente a sus ganancias de peso, sin embargo en el segundo período los terneros más jóvenes obtuvieron ganancias (0.99 kg/día) significativamente ($p<0.05$) mayores que los de más edad (0.51 kg/día). La ingestión diaria de materia seca digestible de pasto por los terneros más jóvenes en julio (8.7 g/kg PV) fue significativamente ($p<0.05$) menor que la obtenida por los terneros de más edad (15.8 g/kg PV), no así en el control de septiembre (13.3 y 14.0 g/kg PV). La ingestión de *Calluna vulgaris* no superó al 5 % del total de la dieta seleccionada por vacas y terneros en ninguno de los controles.

Palabras clave: Vacuno de carne. Pastos de montaña. Ingestión, Selección de dieta. Producción animal.

SUMMARY

SUCKLER BEEF COWS PERFORMANCE IN HILL VEGETATION COMMUNITIES COMPOSED BY *AGROSTIS-FESTUCA-NARDUS-CALLUNA* AND DOMINATED BY HERBACEOUS SPECIES

During five years (1990-1994) a total of 111 beef cows (87 suckling their calves and 24 dry cows) were managed during summer season (June-September) in hill pastures located at 1700 m a.s.l. These hill pastures were made up mainly by *Agrostis capillaris-Festuca rubra-Nardus stricta* and *Calluna vulgaris* being vegetation canopy dominated by herbaceous species. Dry cows were able to maintain body weight and body condition along the grazing season, however cows suckling their calves lost weight and body condition, mainly because of the mobilization of body reserves during the second half (August-September) of the grazing season, when the availability of preferred species (*Agrostis-Festuca*) was low (height 2.82 cm). Likewise, calf live weight gains were between 0.85-1.0 kg/day in the first half (June-August) of the grazing season, however in the second half calf live weight gains were reduced to 0.50-0.65 kg/day. Cows milk production at the beginning (June) of the grazing season ranged between 5.14 and 8.85 kg/day, but at the end of the grazing season (September) ranged between 1.79 and 3.63 kg/day. Digestible pasture dry matter intake decreased significantly from July to September in suckler cows (20.6 to 16.3 g/kg LW; $p<0.05$) and in dry cows (22.9 to 16.9 g/kg LW; $p<0.01$). During the first period calf age did not affect on its live weight gains, however during the second period younger calves achieved live weight gains (0.99 kg/day) significantly ($p<0.05$) higher than the older calves (0.51 kg/day). Digestible pasture dry matter intake was significantly ($p<0.05$) lower in July for those younger calves (8.7 g/kg LW) than for older calves (15.8 g/kg LW), however in September intake was similar for younger and older calves (13.3 vs 14.0 g/kg LW). The percentage of *Calluna vulgaris* in the diet of cows and calves never was higher than 5% of the total intake.

Key words: Beef cattle. Hill pastures. Intake. Diet selection. Animal performance.

Introducción

A pesar de las continuas alusiones a la extensificación de los sistemas de producción animal, en el propósito de atender las demandas de la nueva Política Agraria Comunitaria (1992), es muy escasa la información disponible acerca del comportamiento de las vacas de cría en las diferentes comunidades vegetales naturales que cubren grandes extensiones de las zonas de montaña del norte peninsular y otras muchas áreas de Europa y otros continentes con similar climatología y condiciones de

suelo. Diversos trabajos, fundamentalmente del grupo de investigadores en Ecología de pastoreo del Hill Farming Research Organization (HODGSON y GRANT, 1985; GRANT *et al.*, 1985; 1987; FORBES y BEATTIE, 1987; HODGSON *et al.*, 1991), han tratado de estimar la ingestión y selección de dieta realizada por los vacunos en diversas comunidades vegetales naturales. Dichos trabajos se han realizado en pequeñas parcelas, constituidas por un solo tipo de comunidad vegetal, manejando un número de animales más bien escaso y durante períodos de tiempo cortos, por lo que no existe información sobre las variaciones de peso de los

animales y su comportamiento ingestivo en cubiertas vegetales naturales compuestas por mosaicos de distintas comunidades vegetales (herbáceas y leñosas) y en condiciones de disponibilidad de pasto cambiantes, al ir avanzando la estación de pastoreo. Otros trabajos (REVILLA *et al.*, 1993; VILLALBA *et al.*, 1995) que han estudiado las variaciones de peso de vacas de cría (de raza Parda alpina y Pirenaica) durante su manejo en pastos de la montaña pirenaica, considerando variables de manejo como la fecha de paridera y el estado fisiológico del animal, han observado que dentro de cada época de paridera el factor año es el más significativo ($p < 0.01$) de todos. Presumiblemente dichas variaciones interanuales no serían más que la respuesta del animal a las diferencias interanuales en la disponibilidad del pasto, en cuanto a cantidad, calidad e incluso componentes botánicos.

En el presente trabajo se trata de conocer la interacción pasto-animal determinando la respuesta de las vacas de cría, tanto en cambios de peso y condición corporal como en su conducta de pastoreo (ingestión de pasto y selección de dieta) a la variación en disponibilidad de pasto en comunidades de montaña dominadas por especies herbáceas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en una finca experimental situada a 1700 m de altitud, en el paraje denominado Cueva Palacios-Puerto de Agüera (Quirós-Asturias) cuya vegetación está constituida fundamentalmente por un mosaico de pastizales de diente (compuestos principalmente por *Agrostis capillaris*-*Festuca rubra* y *Nardus stricta*) y brezales dominados por *Calluna vulgaris*,

dominando las comunidades de herbáceas, que ocupan el 70% de la cubierta vegetal. A lo largo de cinco años (1990-1994) se manejaron de junio a septiembre un total de 111 vacas y 87 terneros (87 vacas amamantando sus crías; 24 vacas secas, cuadro 1) de raza Asturiana de Valles con partos en invierno (enero-marzo). La parcela disponible tenía una superficie de 20 ha.

Semanalmente se midió la altura de las especies apetecibles *Agrostis capillaris* y *Festuca rubra* con un sward-stick (BARTHRAM, 1986), en 80 puntos distribuidos al azar en la zona ocupada por vegetación herbácea, es decir, en el 70% de la superficie con el fin de cuantificar la disponibilidad de pasto y por tanto la presión de pastoreo sobre la comunidad vegetal preferida (pastizal).

Se estimó la ingestión, digestibilidad y composición de la dieta en dos períodos en 1992: del 6 al 17 de julio y del 1 al 12 de setiembre, utilizando el método de los n-alcanos (MAYES *et al.*, 1986). En ambos períodos las vacas y sus terneros fueron dosificados una vez al día (9 h) durante 12 días consecutivos con pellets que contenían los alcanos C24, C32 y C36 (1000 mg vacas, 500 mg terneros). Se tomaron muestras de heces del recto los cinco últimos días de cada período, acumulándose las muestras de cada animal. Así mismo, se cogieron muestras de la vegetación disponible (gramíneas, *Nardus* y *Calluna*), a pellizcos, simulando pastoreo, en tres momentos a lo largo del período de dosificación. El manejo de las muestras y los cálculos de ingestión, digestibilidad y composición de la dieta se realizaron según describe OLIVÁN y OSORO (1997).

Los animales se pesaron y se evaluó su condición corporal (LOWMAN *et al.*, 1976) al inicio (junio) y final (septiembre) del

pastoreo en puerto, con una pesada intercalada el 8-10 de agosto, excepto en 1990. Al inicio y final de la estación de pastoreo también se determinó la producción de leche de las vacas con cría, mediante la técnica de LE DU *et al.* (1979).

Para estudiar el efecto de la edad al inicio del pastoreo en puerto sobre sus variaciones de peso y conducta ingestiva, los trece terneros de 1992 se dividieron en dos grupos, los siete primeros en nacer y los seis restantes. Con el efecto edad va parejo también el efecto peso, ya que aquellos ter-

neros más viejos al inicio del pastoreo son los que presentaban mayor peso.

Se analizaron las variaciones de peso y condición corporal en el primer (junio-agosto) y segundo (agosto-septiembre) período y en el conjunto de la estación de pastoreo, así como la producción de leche al inicio y al final y la ingestión y componentes de la dieta en julio y septiembre para los factores: estado fisiológico (con cría y sin cría) y año, corregidos por el peso y la condición corporal al inicio del pastoreo. Los análisis estadísticos se realizaron con

CUADRO 1
NÚMERO DE VACAS MANEJADAS EN CADA UNO DE LOS AÑOS DE ESTUDIO

TABLE 1
NUMBER OF COWS MANAGED IN EACH EXPERIMENTAL YEAR

	Año - Year					Total
	1990	1991	1992	1993	1994	
Vacas con cría	19	16	13	21	18	87
Vacas secas	5	10	9	—	—	24

CUADRO 2
ALTURA MEDIA (CM) DE LAS ESPECIES APETECIBLES (AGROSTIS-FESTUCA)
EN LOS DOS PERÍODOS DE PASTOREO DURANTE LOS AÑOS DE ESTUDIO

TABLE 2
HEIGHT OF THE PREFERRED SPECIES (AGROSTIS-FESTUCA) IN BOTH GRAZING
PERIODS OF EACH EXPERIMENTAL YEAR

	Año - Year				
	1990	1991	1992	1993	1994
Período 1	4.60	4.60	4.10	5.61	4.57
Período 2	2.87	2.87	2.90	3.23	2.95
Media	3.75	3.36	3.63	4.56	3.90

Período 1 (18/6-9/8) ; Período 2 (9/8-14/9).

e) programa estadístico Genstat V (Lawes Agricultural Trust, 1984).

Resultados

Disponibilidad de pasto

La disponibilidad de las especies apetecibles se estimó como la altura (cm) de las herbáceas (fundamentalmente *Agrostis capillaris* y *Festuca rubra*) en la comunidad de pastizal. Dicha disponibilidad se fue reduciendo al ir avanzando la estación de pastoreo (cuadro 2). El período de pastoreo de las vacas secas en el puerto fue más largo que para las vacas con cría, de modo que la altura media del pasto en el período 2 (agosto-septiembre) y la media (junio-

septiembre) son algo inferiores en el caso de las vacas secas.

En el cuadro 3 se muestran los valores bromatológicos (contenidos en materia seca, cenizas, proteína bruta (P.B.), Fibra Ácido Detergente (F.A.D.), Fibra Ácido Detergente corregida (F.A.D.*), Fibra Neutro Detergente (F.N.D.) y Digestibilidad Enzimática (Denz)) de las muestras de pasto tomadas a pellizcos, simulando la dieta seleccionada por los vacunos en la comunidad de pastizal.

Efecto del estado fisiológico

Rendimiento animal

Al comparar las vacas con cría y las secas se observó que en el momento de ini-

CUADRO 3
CONTENIDOS DEL PASTO EN LOS DISTINTOS PARÁMETROS ESTIMATIVOS DEL VALOR NUTRITIVO

TABLE 3
PASTURE CONTENT IN THE DIFFERENT PARAMETERS USED TO ESTIMATE THE NUTRITIVE VALUE

	Muestras	Cenizas	P.B.	F.A.D.	F.A.D.*	F.N.D.	Denz
1990							
Período 1	15	7,77	18,83	29,14	28,55	55,86	52,76
Período 2	19	9,01	20,35	30,86	29,30	56,46	47,37
1991							
Período 1	15	7,30	18,41	24,35	23,86	52,58	56,57
Período 2	12	7,78	17,01	25,68	24,49	52,80	55,23
1992							
Período 1	4	7,63	17,87	23,80	22,29	47,71	65,31
Período 2	5	8,29	21,74	23,66	22,51	50,61	52,27
1990-1992							
Período 1	34	7,55	18,53	26,40	25,74	53,46	55,92
Período 2	36	8,50	19,40	27,97	26,61	54,31	51,48

P.B.: Proteína Bruta; F.A.D.: Fibra Ácido Detergente; F.A.D.*: Fibra Ácido Detergente libre de cenizas; F.N.D.: Fibra Neutro Detergente; Denz: Digestibilidad enzimática.

cio de pastoreo el peso y la condición corporal de las vacas criando y las secas eran significativamente diferentes ($p < 0.05$), por lo que ambas variables se introdujeron en el modelo como covariables para corregir los posibles efectos ocasionados por dicha diferencia inicial. Sin embargo, los coeficientes de regresión de dichas covariables no fueron significativas por lo que apenas modificaban los valores no corregidos, por ello se presentan los resultados no corregidos en el cuadro 4.

En estos pastos de montaña dominados por herbáceas, en el total de la estación de pastoreo en puerto las vacas con cría movilizaron peso (-0.38 kg/día) y consiguientemente

reservas, disminuyendo la condición corporal en 0,26 puntos. Sin embargo las vacas secas fueron capaces de mantener el peso (-0.05 kg/día) y la condición corporal ($+0.15$ puntos) por lo que las diferencias en ambas variables dependientes entre las vacas con cría y las secas fueron altamente significativas ($p < 0.001$) (cuadro 4).

Considerando la estación de pastoreo por períodos, el efecto del estado fisiológico fue significativo en los dos períodos de pastoreo, siendo especialmente importante en el segundo período ($p < 0.001$), en el que las vacas con cría tenían pérdidas diarias próximas al kilogramo, mientras que en el primer período mantenían su peso y condi-

CUADRO 4
EFECTO DEL ESTADO FISIOLÓGICO EN LA VARIACIÓN DE PESO Y CONDICIÓN CORPORAL (C.C.) DE LAS VACAS

TABLE 4
EFFECT OF PHYSIOLOGICAL STATUS ON THE LIVE WEIGHT AND BODY CONDITION CHANGES

Año	1990		1991		1992		Media		e.s.d.	Sign.
Estado fisiológico	Con cría	Secas	Con cría	Secas	Con cría	Secas	Con cría	Secas		
Nº animales	19	5	16	10	13	9				
Inicio:										
Peso (kg)	531	524	506	459	503	469	515	476	16.91	*
C. Corporal	2.90	2.95	2.70	2.93	2.81	2.94	2.81	2.94	0.052	*
Variación de peso (kg/día):										
Período 1	—	—	-0.17	0.23	0.20	0.50	0.03	0.31	0.133	**
Período 2	—	—	-1.06	-0.55	-0.96	0.01	-1.02	-0.28	0.162	***
Media	-0.43	-0.32	-0.45	-0.13	-0.27	0.25	-0.38	-0.05	0.075	***
Variación de C.C.:										
Período 1	—	—	0.04	0.32	0.05	0.21	0.05	0.26	0.060	*
Período 2	—	—	-0.18	-0.16	-0.21	0.09	-0.21	-0.03	0.065	**
Total	-0.42	-0.17	-0.14	0.15	-0.17	0.30	-0.26	0.15	0.063	***

e.s.d.: error standard de la diferencia entre medias.

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.001$.

ción corporal. Sin embargo, las vacas secas acumulaban reservas (0,31 kg/día) en el primer período y perdían sólo 0,28 kg/día en el segundo período.

Ingestión de materia seca y digestibilidad de la dieta

El estado fisiológico no afectó significativamente en el nivel de ingestión diario de materia seca digestible obtenido por las vacas en el control de julio (20,6 vs 22,9 g/kg PV) ni en el de septiembre (16,3 vs 16,9). Sin embargo se observaron diferencias significativas en la digestibilidad de la

dieta seleccionada, siendo ésta mayor en las vacas secas tanto en el control de julio (74 % vs 68 %; $p < 0.05$) como en el de septiembre (65 % vs 58%; $p < 0.01$) (cuadro 5).

La ingestión absoluta de materia seca no difirió significativamente entre los controles de julio y septiembre en las vacas con cría ni en las secas. Sin embargo sí varió entre períodos la digestibilidad ($p < 0.001$) y la ingestión de materia seca digestible (IMSD) obtenida por las vacas con cría ($p < 0.01$) y también por las secas ($p < 0.01$). Al referir la IMSD por peso vivo ésta tendió a disminuir ($p < 0.1$) de un período a otro en las vacas con cría, siendo la reduc-

CUADRO 5
INGESTIÓN Y DIGESTIBILIDAD DE LA DIETA SELECCIONADA POR VACAS CON CRÍA Y VACAS SECAS

TABLE 5
INTAKE AND DIGESTIBILITY OF THE DIET SELECTED BY SUCKLING AND DRY COWS

Estado fisiológico	Con cría	Secas	e.s.d.	Sign.
Nº animales	13	9		
Primer período (julio):				
Disponibilidad de pasto ⁽¹⁾	3.8	3.8		
Digestibilidad de la dieta (%)	68.4	74.2	2.50	*
Ingestión de pasto/día:				
MS (kg)	14.74	14.30	1.038	NS
MSD (kg)	10.21	10.60	0.978	NS
MSD/PV (g/kg)	20.6	22.9	2.41	NS
Segundo período (septiembre):				
Disponibilidad de pasto ⁽¹⁾	2.9	2.9		
Digestibilidad de la dieta (%)	58.3	64.6	1.87	**
Ingestión de pasto/día:				
MS (kg)	13.13	12.61	0.896	NS
MSD (kg)	7.70	8.17	0.694	NS
MSD/PV (g/kg)	16.3	16.9	1.83	NS

(1) Altura de las especies apetecibles en cm.

MS: Materia Seca; MSD: MS Digestible; PV: Peso Vivo.

e.s.d.: error standard de la diferencia entre medias. NS: $p > 0.05$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

ción significativa ($p < 0.01$) en las vacas secas.

En los terneros la variación entre períodos también fue muy significativa para la ingestión de materia seca total ($p < 0.01$), que pasó de 2.42 kg en julio a 4.47 en septiembre, para la digestibilidad de la dieta ($p < 0.05$), que se redujo del 69.2% al 61.2% y para la ingestión de materia seca digestible absoluta ($p < 0.05$), que fue de 1.79 y 2.76 kg en el control de julio y septiembre respectivamente. Sin embargo la ingestión relativa al peso vivo no difirió entre períodos (12.1 y 13.7 g/kg PV).

Selección de dieta

La dieta seleccionada por las vacas se compuso exclusivamente de gramíneas tanto en julio (100%) como en septiembre (99%), independientemente del estado fisiológico. Las vacas obtuvieron una dieta con una digestibilidad relativamente alta en julio y aceptable en septiembre para las condiciones en que se encuentra el pasto disponible. Las diferencias en la composición de la dieta de un período y otro no fueron significativas. Sin embargo los terneros, que en julio sólo seleccionaban las gramíneas apetecibles, en septiembre tenían en su dieta un 5% de *Calluna* y un 95% de gramíneas, por lo que la variación en la composición de la dieta del primer al segundo período fue significativa ($p < 0.01$).

Efecto del año

Rendimiento animal

En las vacas secas el año afectó significativamente en las variaciones de peso y condición corporal, debido a que éstas fue-

ron mejorando en el transcurso de los años (1990 a 1992) tanto en el primer y segundo período de pastoreo como en el total. Así las variaciones de peso del pastoreo en puerto pasaron de ser negativas (-0.34 kg/día) en 1990 a acumular 0.25 kg/día en 1992 ($p < 0.001$) correspondiéndoles cambios en condición corporal de -0.20 y +0.19 puntos respectivamente ($p < 0.01$) (cuadro 6).

En las vacas con cría, al igual que en las vacas secas, las variaciones de peso, tanto del total de la estación de pastoreo en puerto como por períodos, fueron también mejorando significativamente ($p < 0.001$) con el transcurso de los años (1990 a 1994), pasando de tener pérdidas medias de 0.43 kg/día en 1990 a mantener o ganar peso (+0.19 kg/día) en 1994 (Datos no corregidos). Consecuentemente la variación de la condición corporal también difirió significativamente ($p < 0.001$) de un año a otro, pasando de -0.41 a +0.01 puntos.

No obstante, debido a que el peso de la vaca, su condición corporal y producción de leche, así como el peso del ternero al inicio del pastoreo en puerto, fueron significativamente diferentes entre los distintos años, dichas variables se introdujeron en el modelo como covariables para corregir sus posibles efectos sobre las variables dependientes estudiadas. La introducción en el modelo de dichas covariables no modificó los niveles de significación del efecto año para las distintas variables dependientes estudiadas, pero sí produjo una ligera variación de las cuantías, especialmente en las del año 1994, debido al significativo menor peso y condición corporal de las vacas de dicho año (cuadro 7). La producción de leche al final del pastoreo tras el ajuste también difirió significativamente ($p < 0.001$) con los años, oscilando entre los 1.82 de 1990 y los 3.41 kg/día de 1992.

CUADRO 6
EFECTO AÑO EN LAS VARIACIONES DE PESO Y CONDICIÓN CORPORAL (C.C.)
DE LAS VACAS SECAS

TABLE 6
YEAR EFFECT ON THE LIVEWEIGHT AND BODY CONDITION CHANGES IN DRY COWS

	Año			e.s.d.	Sign.
	1990	1991	1992		
N.º animales	5	10	9		
Inicio:					
Peso (kg)	524	459	469	35,4	NS
C. Corporal	2,95	2,93	2,94	0,097	NS
Variación de peso (kg/día):					
Período 1	—	0,17	0,48	0,168	NS
Período 2	—	-0,44	0,04	0,113	***
Media	-0,34	-0,11	0,25	0,116	***
Variación de C. C.:					
Período 1	—	0,25	0,14	0,097	NS
Período 2	—	-0,15	0,06	0,068	*
Total	-0,20	0,10	0,19	0,107	**

e.s.d.: error standard de la diferencia entre medias.

NS $p > 0.05$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Fue la condición corporal la que en mayor medida tendió a afectar negativamente a las variaciones, siendo mayores las pérdidas de los animales con mejor condición corporal al inicio, o con mayor producción de leche. Por ello se produce el cambio de valores absolutos presentados anteriormente con respecto a los de la tabla 7, especialmente en los correspondientes al año 1994, en el que las vacas tienen menor condición corporal al inicio y habían obtenido unas recuperaciones de 0,19 kg/día.

El peso de la vaca al inicio del pastoreo no afectó significativamente a ninguna de las variaciones.

Las ganancias medias diarias de los terneros para el total de la estación de pastoreo fueron incrementando de año en año, de los 0,68 kg/día en 1990 a los 0,80 kg/día en 1994 (ajustados), siendo la variación interanual significativa ($p < 0,05$).

Efecto de la edad del ternero

Rendimiento animal

En el primer período de pastoreo la edad del ternero no afectó significativamente en las ganancias de los terneros (cuadro 8), siendo éstas de 0,84 kg/día para los más jóvenes y 0,88 kg/día para los primeros en

nacer, es decir, para los más viejos. Sin embargo en el segundo período las ganancias de los terneros más jóvenes, fueron significativamente ($p < 0.05$) superiores que las de los mayores (0,99 vs 0,51 kg/día).

En parte esta diferencia podría explicarse por la mayor producción de leche que mantenían las madres de los terneros más

jóvenes, al terminar el pastoreo en puerto (4,1 kg/día), frente a las madres de los terneros de más edad (3,2 kg/día), aunque las diferencias en dicho momento no eran significativas, debido al escaso número de grados de libertad ($n=13$), probablemente al inicio de este segundo período las diferencias podrían ser mayores.

CUADRO 7
EFECTO AÑO EN LAS VARIACIONES DE PESO Y CONDICIÓN CORPORAL DE
LAS VACAS CON CRÍA Y GANANCIAS DE LOS TERNEROS
(ajustado para las variables de inicio de pastoreo)

TABLE 7
YEAR EFFECT ON THE LIVE WEIGHT AND BODY CONDITION CHANGES IN
SUCKLING COWS AND ON CALVES LIVE WEIGHT GAINS

	AÑO					e.s.d.	Sign.
	1990	1991	1992	1993	1994		
Nº animales	19	16	13	21	18		
Inicio:							
Peso vaca (kg)	531	506	503	522	465	21,3	*
C.C. vaca	2,90	2,70	2,51	2,88	2,57	0,08	***
Peso terneros (kg)	129	129	136	162	122	12,9	**
Prod. leche (kg/día)	6,39	6,34	7,93	8,85	5,14	0,594	***
Variación peso vaca (kg/día) :							
Período 1	—	-0,18	0,24	0,07	0,40	0,105	* * *
Período 2	—	-1,14	-0,92	-0,62	-0,40	0,204	* * *
Media	-0,39	-0,51	-0,23	-0,19	0,02	0,100	* * *
Variación C.C.:							
Período 1	—	0,03	0,14	0,11	0,03	0,067	NS
Período 2	—	-0,19	-0,18	-0,12	-0,10	0,073	NS
Total	-0,37	-0,17	-0,04	-0,01	-0,07	0,072	* * *
Ganancia peso terneros (kg/día) :							
Período 1	—	0,90	0,86	0,85	0,97	0,064	NS
Período 2	—	0,47	0,60	0,68	0,60	0,053	*
Media	0,68	0,75	0,76	0,79	0,80	0,047	*
Producción de leche final (kg/día)	1,82	3,17	3,41	2,64	2,74	0,492	* *

e.s.d.: error standard de la diferencia entre medias.

NS $p > 0.05$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

La edad de la cría no afectó significativamente en las variaciones de peso de sus madres en ninguno de los períodos.

Ingestión de materia seca y digestibilidad de la dieta

Los terneros más jóvenes al subir a puerto, en el control de julio obtuvieron ingestiones de materia seca digestible significativamente ($p < 0.001$) más bajas (0.82 kg MSD/día) que los terneros más viejos (2.61 kg MSD/día), siendo las diferencias también significativas ($p < 0.05$) incluso cuando se refería la ingestión por kg de peso vivo y día (9 y 15 g/kg PV) (cuadro 8). Sin embargo, en el control de septiembre, a pesar de que los terneros más viejos seguían obteniendo mayores ingestiones absolutas de materia seca digestible, las diferencias con los jóvenes no eran significativas y al referirlas por kg de peso vivo las ingestiones eran similares (13.3 y 14.0 g/kg PVxdía). La ingestión de pasto absoluta y por kg de peso vivo aumentó significativamente ($p < 0.01$) entre períodos en los terneros jóvenes, pero no en los más grandes.

Las ingestiones de las madres no se vieron afectadas por la edad de sus terneros, aunque aquellas vacas con terneros más jóvenes tendían a obtener mayores ingestiones tanto en julio como septiembre. La ingestión de pasto de las vacas disminuyó por igual (4 g/kg PV) de julio a septiembre, independientemente de la edad de su ternero o la fecha de parto.

Selección de dieta

La edad del ternero no afectó de forma significativa a la composición botánica de la dieta seleccionada por los terneros y por sus madres. Las herbáceas supusieron el

100% y el 95% de la dieta de los terneros en julio y septiembre respectivamente.

Efecto del sexo del ternero

Rendimiento animal

Las ganancias de los terneros machos en el primer período de la estación de pastoreo en puerto (1.07 kg/día) fueron significativamente ($p < 0.01$) mayores que las de las hembras (0.82 kg/día), no mostrando diferencias significativas en el segundo período, en que las ganancias fueron de 0.66 y 0.80 kg/día para machos y hembras respectivamente. Dichas diferencias entre sexos en buena parte serían debidas a la edad al ser el número de hembras jóvenes (4) superior al de machos jóvenes (2) y en el apartado anterior hemos visto las diferencias en las ganancias del segundo período debidas a la edad.

Ingestión de materia seca y digestibilidad de la dieta

En ninguno de los dos períodos de pastoreo se observaron diferencias significativas entre machos y hembras en cuanto a la ingestión y digestibilidad de la dieta obtenida, aunque los machos tendieron a obtener ingestiones ligeramente mayores en el primer período (julio).

El sexo del ternero tampoco afectó a las ingestiones y digestibilidad de la dieta obtenida por sus madres.

Selección de dieta

El sexo del ternero no afectó significativamente en la composición de la dieta seleccionada por los propios terneros y ni por sus madres.

CUADRO 8
EFECTO DE LA EDAD EL TERNERO SOBRE LA INGESTIÓN Y DIGESTIBILIDAD
DE LA DIETA

TABLE 8
EFFECT OF CALF AGE ON INTAKE AND DIET DIGESTIBILITY

Edad	Jóvenes	Mayores	e.s.d.	Sign.
Nº animales	6	7		
Inicio:				
Peso vaca (kg)	471	530	29.4	NS
C.C. vaca	2.67	2.93	0.092	*
Peso ternero (kg)	92	173	17.8	***
Edad (días)	66	152	16.6	***
Primer período (julio):				
Disponibilidad de pasto (1)	3.8	3.8		
Digestibilidad de la dieta(%):				
Vaca	67.3	69.3	3.42	NS
Ternero	63.3	75.0	6.37	0.1
Ingestión de pasto/día:				
Vaca:				
MS (kg)	14.35	15.08	1.629	NS
MSD (kg)	9.92	10.45	1.569	NS
MSD/PV (g/kg)	21.3	19.9	3.60	NS
Ternero:				
MS (kg)	1.18	3.48	0.459	***
MSD (kg)	0.82	2.61	0.365	***
MSD/PV (g/kg)	8.7	15.0	2.18	*
Segundo período (septiembre):				
Disponibilidad de pasto (1)	2.9	2.9		
Digestibilidad de la dieta(%):				
Vaca	59.0	57.7	2.71	NS
Ternero	62.8	59.7	4.00	NS
Ingestión de pasto/día:				
Vaca:				
MS (kg)	13.01	13.24	1.142	NS
MSD (kg)	7.74	7.66	0.905	NS
MSD/PV (g/kg)	17.4	15.4	2.61	NS
Ternero:				
MS (kg)	3.39	5.40	0.718	*
MSD (kg)	2.19	3.25	0.520	0.1
MSD/PV (g/kg)	13.3	14.0	2.87	NS
Ganancias ternero (kg/día):				
Período 1	0.84	0.88	0.099	NS
Período 2	0.99	0.51	0.214	*
Producción de leche (kg/día):				
Subida	8.37	7.55	0.945	NS
Bajada	4.11	3.22	0.737	NS

(1) Altura de las especies apetecibles en cm.

e.s.d.: error standar de la diferencia entre medias.

NS $p > 0.10$; * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$; MS: Materia Seca; MSD: MS Digestible; P.V.: Peso Vivo.

Discusión

Los resultados corroboran las menores recuperaciones de peso de las vacas en los pastos de montaña (mayores 0.5 kg/día) frente a los alcanzados en pastos mejorados de las zonas bajas (0.8 kg/día OSORO *et al.*, 1995) también observados por RUSSEL y BROADBENT (1985) y OSORO (1986) para las condiciones de Escocia y Galicia respectivamente, con períodos de pérdidas de peso hacia el final de la estación de pastoreo en puerto tal como vieron (REVILLA *et al.*, 1991; 1993) para las condiciones de manejo del Pirineo aragonés.

Estos últimos autores señalan la necesidad de mejorar el conocimiento de las interacciones pasto-animal para mejorar la

eficiencia del sistema de cara a la recuperación de reservas corporales, adoptando las estrategias de pastoreo necesarias cuando los animales presentan pérdidas de peso. El presente trabajo muestra que en comunidades vegetales de montaña como la estudiada, dominadas por herbáceas, las vacas con cría empiezan a movilizar reservas cuando la altura de las especies apetecibles (*Agrostis-Festuca*) se sitúa por debajo de los 3.8-4.0 cm aproximadamente, mientras que en las vacas sin cría dicha movilización se produciría cuando la disponibilidad de herbáceas se situase por debajo de unos 3 cm de altura (figura 1).

Llama la atención la diferencia tan considerable entre las variaciones de peso observadas en estos pastos de montaña domi-

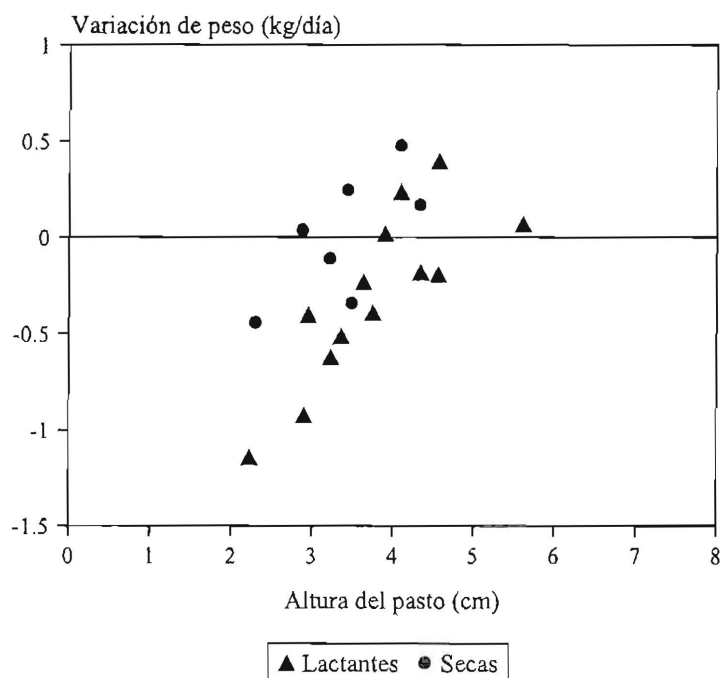


Figura 1. Variación de peso de vacas con cría y vacas secas en relación con la disponibilidad (altura) del pasto apetecible (*Agrostis-Festuca*)

Figure 1. Relationship between live weight changes and height of preferred grass species (*Agrostis-Festuca*)

nados por herbáceas, con una altura de pasto baja entre 2.5 y 5.0 cm, y la obtenida en pastos dominados por raigrás inglés y trébol blanco por vacas de la misma raza (OSORO *et al.*, 1995) o por vacas de cría de cruces con Hereford o Frisona (WRIGHT y WHYTE, 1989). Esta mejor respuesta animal obtenida en los pastos de montaña frente a la conseguida en los pastos sembrados, podría deberse a una mayor densidad de los pastos naturales de montaña en comparación con los sembrados (CELAYA, 1998), lo que permitiría a los animales obtener un mayor tamaño de bocado (mayor ingestión de pasto por unidad de volumen del bocado). Diversos autores (HODGSON, 1985; LACA *et al.*, 1993; BURLISON *et al.*, 1991) han observado que la cantidad de pasto ingerida por bocado es el resultado de la interacción entre la altura del pasto y su densidad.

Por lo que respecta a la digestibilidad de la dieta seleccionada en el control de julio por las vacas con cría, 68.4%, y secas, 74.2%, y a la ingestión de MSD de 20.6 y 22.9 g/kg PV respectivamente, los valores son muy próximos a los 66-71% de digestibilidad y a la ingestión de 21.3 g de M.O. o 14.3 de MOD/kg PV observados en vacas secas por HODGSON *et al.* (1991), cuando eran manejadas en comunidades de *Agrostis-Festuca*. Evidentemente, la reducción de la cantidad de pasto disponible según avanza la estación de pastoreo conlleva un incremento en la dificultad de selección de dieta y consiguientemente una caída en la digestibilidad de la misma, en buena parte por el incremento de materia muerta presente en la dieta y de especies más leñosas o lignificadas, tal como reflejan los resultados de los controles de septiembre.

Las ingestiones de pasto de los terneros más jóvenes y de los mayores en el control de julio y septiembre corroboran las obser-

vaciones de BAKER *et al.* (1976) y BAILEY y LAWSON (1981), quienes señalaron que la ingestión por kg de peso vivo incrementa rápidamente en los terneros jóvenes para hacerse constante cuando éstos alcanzan unos 150 kg de peso. Ello explica que la ingestión por kg de peso vivo no aumente del control de julio (15 g/kg PV) al de septiembre (14 g/kg PV) en los terneros grandes (173 kg al inicio de pastoreo) pero sí en los pequeños, que al inicio de la estación de pastoreo tenían 92 kg de peso. Por ello estos últimos en julio solo ingerían 8.7 g de MSD/kg PV, mientras que en septiembre ya se aproximaban (13.3 g/kg PV) al máximo de su capacidad de ingestión de pasto por peso vivo.

Las mayores ganancias de los terneros pequeños en el segundo período (agosto-septiembre) frente a los más grandes viene a indicar la importancia de la aportación lechera de la madre, en especial cuando la disponibilidad de pasto es escasa, tal como observaron BAKER *et al.* (1981) y RUSSEL *et al.* (1986). Al ser reducida la cantidad de pasto disponible en la segunda mitad de la estación de pastoreo, la menor producción de leche podría ser compensada, al menos parcialmente, por un incremento en la ingestión de pasto, hecho que ocurriría si la cantidad de hierba disponible no fuera limitante (WRIGHT y RUSSEL, 1987). Por otra parte en una situación de escasa disponibilidad de alimento (leche y pasto) los animales de mayor tamaño se verían más perjudicados al ser mayores sus necesidades totales de mantenimiento.

Por lo que respecta a los componentes de la dieta en julio y septiembre, los resultados corroboran la escasa o nula ingestión de *Calluna vulgaris* por el vacuno, observada por GRANT *et al.* (1987), en comunidades vegetales dominadas por *Calluna*.

Conclusiones

- Los pastos de montaña dominados por herbáceas (*Agrostis-Festuca-Nardus*) permiten que las vacas mantengan y recuperen reservas corporales, siempre que la altura de las especies apetecibles (*Agrostis-Festuca*) se mantenga por encima de 3,8-4,0 cm para las vacas con cría y de 3 cm para las vacas secas.

- Los terneros en el primer período de pastoreo, es decir, cuando la altura de las especies apetecibles es en torno a 4,5 cm. o más, son capaces de alcanzar incrementos de peso diarios próximos a 1 kg, similares a los obtenidos en pastos de raigrás inglés y trébol blanco por terneros de las mismas características.

- La ingestión de pasto por los terneros y sus ganancias están significativamente afectadas por la edad y peso de los terneros al inicio del pastoreo en puerto.

- El vacuno apenas muestra consumo de *Calluna vulgaris*, siendo insignificante su presencia en la dieta, incluso cuando la disponibilidad de herbáceas es muy limitante.

- Cuando la altura de las especies apetecibles (*Agrostis-Festuca*) se sitúa por debajo de 3 cm es preciso tomar decisiones de manejo, como el destete de los terneros, que limiten la acusada movilización de reservas corporales que se produce en sus madres en dichas circunstancias.

Agradecimientos

Al personal del Programa de Investigación en Producción de Carne del CIATA por el desinteresado esfuerzo y entusiasmo puesto en la obtención de la información, muchas veces en circunstancias difíciles y a

nuestra administrativa Esther López, la paciencia que ha mantenido y el esmero puesto en el mecanografiado de este trabajo.

A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología por la financiación de los proyectos GAN88-0293 y GAN91-0623, que han sido la base de la información discutida en el presente trabajo.

Bibliografía

- BAILEY C.B., LAWSON J.E., 1981. Estimated water and forage intake in nursing range calves. *Can. J. Anim. Sci.*, 61: 415-421.
- BAKER R.D., LE DU Y.L.P., BARKER J.M., 1976. Milk-fed calves. The effect of milk intake upon the herbage intake and performance of grazing calves. *J. Agric. Sci. Camb.*, 87: 187-196.
- BAKER R.D., ÁLVAREZ F., LE DU Y.L.P., 1981. The herbage intake and performance of set-stocked suckler cows and calves. *Grass and Forage Science* 36: 201-210.
- BARTHRAM G.T., 1986. Experimental techniques: the HFRO swardstick. *Hill Farming Research Organisation Biennial Report, 1984-85*, pp. 29-30.
- BURLISON A.J., HODGSON J., ILLIUS A.W., (1991). Sward canopy structure and the bite dimensions and bite weight of grazing sheep. *Grass and Forage Sci.*, 46: 29-48.
- CELAYA R., 1998. Dinámica vegetal de pastos y matorrales de la montaña Cantábrica sometidos a diferentes estrategias de pastoreo por rumiantes. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo.
- FORBES T.D.A., BEATTIE M.M., 1987. Comparative studies of the influence of sward conditions on the ingestive behaviour of cows and sheep. *Grass and Forage Science*, 40: 69-77.
- GRANT S.A., SUCKLING D.E., SMITH H.K., TORVELL L., FORBES T.D.A., HODGSON J., 1985. Comparative studies of diet selection by sheep and cattle: the hill grasslands. *Journal of Ecology*, 73: 987-1004.
- GRANT S.A., TORVELL L., SMITH H.K., SUCKLING D.E., FORBES T.D.A., HODGSON J., 1987. Comparative

- studies of diet selection by sheep and cattle: blanket bog and heather moor. *Journal of Ecology*, 75: 947-960.
- HODGSON J., 1985. The control of herbage intake in the grazing ruminant. *Proc. Nutr. Soc.*, 44: 339-346.
- HODGSON J., GRANT S.A., 1985. The grazing ecology of hill and upland swards. *Hill and Upland Livestock Production* (Ed. T.J. Maxwell y R.G. Gunn). British Society of Animal Production Occasional Publication N° 10: 77-84.
- HODGSON J.A., FORBES T.D.A., AMSTRONG R.H., BEATTIE M.M., HUNTER E.A., 1991. Comparative studies of the ingestive behaviour and herbage intake of sheep and cattle grazing indigenous hill plant communities. *Journal of Applied Ecology*, 28: 205-227.
- LACA E.A., DEMMENT M.W., DISTEL R.A., GRIGGS T.C., 1993. A conceptual model to explain variation in ingestive behaviour within a feeding patch. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*, pp. 710-712.
- LAWES AGRICULTURAL TRUST., 1984. Genstat V. Mark 4.04B. Rothamsted Experimental Station. Harpenden Hertfordshires.
- LE DU Y.L.P., MACDONALD J., PEART J.N., 1979. Comparison of two techniques for estimating the milk production of suckler cows. *Livestock Production Science*, 6: 277-281.
- LOWMAN B.G., SCOTT N.A., SOMERVILLE S.H., 1976. Condition scoring of cattle. Revised edition. *Bulletin East of Scotland College of Agricultural* n° 6.
- MAYES R.W., LAMB C.S., COLGROVE P.M., 1986. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 107: 161-170.
- OLIVÁN M., OSORO K., 1997. Utilización de la técnica de los n-alcenos en estudios de ingestión y selección de dieta de los rumiantes en pastoreo: revisión. ITEA, Vol. 93 A N°: 3: 193-208.
- OSORO K., 1986. Utilización das áreas de montaña por vacas de cría: posibilidades, limitacions e alternativas de manexo. IV Xornadas Agrarias Galegas. Cuadernos da Áreas de Ciencias Agrarias, 8: 51-69.
- OSORO K., ORMAZÁBAL J.J., OLIVÁN M., CELAYA R., 1995. Rendimiento animal de las vacas de cría en pastos sembrados de raigrás y trébol blanco manejados en pastoreo. *Bovis*, 67: 34-49.
- REVILLA R., GIBÓN A., OLLETA J.L., 1993. Variaciones de peso vivo durante el período de pastoreo en vacas de carne explotadas en condiciones de montaña. ITEA, V Jornadas sobre Producción Animal. Vol. extra N° 12: 51-53. AIDA, Zaragoza.
- REVILLA R., OLLETA J.L., ALBERTI P., BLASCO J., SANJUAN L., 1991. Recuperación de peso y condición corporal durante el período de pastoreo en vacas explotadas en condiciones de montaña. ITEA, IV Jornadas sobre Producción Animal. Vol. extra N° 11: 298-300. AIDA, Zaragoza.
- RUSSEL A.J.F., BROADBENT P.J., 1985. Nutritional needs of cattle in hills and uplands. *Hill and Upland Livestock Production* (Ed. T.J. Maxwell y R.G. Gunn). British Society of Animal Production Occasional Publication N° 10: 55-66.
- RUSSEL A.J.F., WRIGHT I.A., HODGSON J., HUNTER E.A., 1986. Factors affecting production from grazing beef cows and calves. *Hill Land Symposium, Galway 1984* (Ed. M.A. O'Toole). An Foras Taluntais, Dublin, pp. 255-269.
- VILLALBA D., BLANCH M., CASASUS I., OLLETA J.L., REVILLA R., 1995. Factores que condicionan las variaciones de peso de vacas y terneros durante el pastoreo en zonas de montaña. ITEA, VI Jornadas sobre Producción Animal, Vol. extra N° 16: 156-158. AIDA, Zaragoza.
- WRIGHT I.A., RUSSEL A.J.F., 1987. The effect of sward height on beef cow performance and on the relationship between calf milk and herbage intakes. *Animal Production*, 44: 363-370.
- WRIGHT I.A., WHYTE T.K., 1989. Effect of sward surface height on the performance of continuously stocked spring calving beef cows and their calves. *Grass and Forage Science*, 44: 259-266.

(Aceptado para publicación el 16 de marzo de 1998)

EL MERCADO EN ORIGEN DE LA LECHE: FORMACIÓN DE LOS PRECIOS Y ESTRUCTURA DE LOS INGRESOS DE LOS GANADEROS

N. Vandenberghe

M.L. Cela Castro

M. Rico Gómez

A. Ceular Villacé

A. Moreno Grande

Área de Producción Animal / Economía Agraria
Departamento de Anatomía y Producción Animal
Universidad de Santiago de Compostela
Facultad de Veterinaria
27002 Lugo
España

RESUMEN

Se estudia la formación del precio percibido por la venta de leche y la estructura de los ingresos de explotaciones de la provincia de Lugo. Se llega a la conclusión de que la estabilidad a lo largo del año de los ingresos de las explotaciones por venta de leche, el "salario de los ganaderos", se debe a la determinación por las industrias de un precio base compensatorio alto en otoño-invierno cuando disminuyen las entregas de leche, y bajo en primavera-verano cuando éstas aumentan. Los ingresos por primas de calidad varían en el mismo sentido que el precio base, pero su papel es secundario debido a su escaso peso. Por el contrario los cuantiosos ingresos por otras primas se revelan constantes a lo largo del año, contribuyendo así a la estabilidad de los ingresos totales.

Palabras clave: Explotaciones lecheras. Comercialización en origen de la leche de vaca.

SUMMARY

MILK PRODUCER MARKET: PRICE FORMATION AND DAIRY FARMS INCOME

Milk price formation and dairy farms income structure are analyzed in the province of Lugo. Significant differences are observed for monthly milk production, received and basic prices, quality bonus and income by quality bonus between the periods of fall-winter and spring-summer. On the other hand other bonus and their correspondent incomes, as well as incomes from received and basic prices, remain unchanged. The stability of the farm income, that is to say the producer "salary", is due to the higher basic price in fall-winter, with lower production and better chemical quality, and strong participation of incomes from other bonus in comparison with those due to milk quality.

Key words: Dairy farms. Cow milk commercialization.

Introducción

El mercado en origen de la leche constituye un oligopolio de demanda: las explotaciones ganaderas constituyen una oferta atomizada y dispersa, mientras la demanda del producto se concentra en un número pequeño de industrias lácteas. Esta desigualdad natural entre las dos fuerzas económicas del intercambio dificulta una óptima formación de los precios porque lleva sobre todo a una falta de transparencia del mercado. De acuerdo con la teoría microeconómica, la transparencia es la propiedad que posibilita una clara visión del mercado por todos los sujetos que lo componen y permite que esta institución se rija por el principio de la unicidad del precio, y la óptima formación de los precios se logra cuando el mercado funciona correctamente en lo que se refiere a sus elementos personales y reales, así como relaciones externas e internas (CASTAÑEDA, 1968; BALLESTERO, 1973; VANDENBERGHE, 1995).

Los inconvenientes que para los ganaderos supone la falta de transparencia del mercado en origen de la leche se ven agravados por la contingentación efectiva del sector de acuerdo con los R.D. 1888/1991 (Plan de Reordenación del Sector de la Leche y Productos Lácteos) y 1319/1992 (Normas Específicas para la Aplicación del Régimen de la Tasa Suplementaria). La reforma de la PAC acordó la prórroga del sistema vigente en la CE desde 1984 y aplicado por primera vez en España en la campaña 1994/95 hasta el año 2000, cuando deberá instituirse una nueva OCM de la leche y productos lácteos. Si se mantiene el sistema de cuotas, se prevé una disminución de la producción para el año 2005 ocasionada simplemente por el aumento en grasa, pero insuficiente para justificar cam-

bios radicales en la OCM (Commission Européenne, 1997).

A nivel microeconómico la contingentación significa que las explotaciones deben preservar su rentabilidad con gran atención a la valoración del producto y precio percibido (CORDONNIER, 1986). En efecto, la limitación de la producción de la empresa impide la adaptación microeconómica básica a través de la variación cuantitativa de la oferta (CASTAÑEDA, 1968; VANDENBERGHE, 1995), y limita la búsqueda de la rentabilidad a estrategias de máxima valoración del output vía precios y calidad. El proceso de formación del precio, que determina la estructura de los ingresos, adquiere una especial importancia para la gestión de la empresa, y debe analizarse sistemáticamente para preservar los resultados económicos de las unidades de producción, que se ven obligadas a un mejor aprovechamiento de los sistemas de pago establecidos por las industrias (FABRE, SERIEYS, 1994).

Estos sistemas son muy variables, ya que la ordenación del sector resulta poco específica en esta cuestión y deja gran libertad a las industrias (BEGUIN, 1994). Las empresas aplican modelos diversos que adolecen a menudo de escasa transparencia y contribuyen a la falta de información del sector ganadero. No existe un modelo uniforme para las liquidaciones de las entregas como se ha logrado imponer en otros países mediante acuerdos interprofesionales (Chambre Régionale d'Agriculture, 1989). En la actualidad no se llevan a cabo en España negociaciones periódicas generalizadas para determinar los precios, función que se deja a un mercado en el que predominan los grupos de presión de la demanda industrial ante la debilidad de las organizaciones interprofesionales. Sin embargo en teoría la propiedad de las cuotas, que corresponde a los ganaderos, debería refor-

zar la posición negociadora de la oferta en origen (LANGREO NAVARRO, 1994). Los ganaderos no están al corriente de los sistemas de pago y carecen de elementos de comparación, lo que lleva a una escasa participación de la oferta en la formación de los precios en origen y no aprovechamiento de sus variaciones estacionales (AGABRIEL *et al.*, 1995).

La rentabilidad de las explotaciones depende ante todo del pago en origen de su principal producto. La mejora del proceso de formación del precio constituye una reivindicación aún no atendida del sector ganadero, que tiene que hacer frente a un endurecimiento progresivo de las exigencias fijadas para la comercialización de su producción. La normativa de obligatorio cumplimiento a partir de enero 1998 va a tener un gran impacto ya que se estima que sólo un 30% de la leche recogida responde a las nuevas exigencias de calidad (DÍAZ YUBERO, 1997). En Galicia se aplican ya algunas primas relacionadas con el contenido en células somáticas (ILE, 1996). La nueva normativa va a contribuir a mejorar la formación del precio en origen al integrar nuevos aspectos a tener en cuenta por las empresas a la hora de pagar el producto al ganadero: calidad biológica o higiénica (células somáticas y gérmenes) y no solamente calidad físico-química o bromatológica (grasa y proteína).

La clarificación de algunas primas va a permitir orientar a los ganaderos hacia la producción de una leche tanto de calidad óptima (ESTRUCH GUITART, 1994) como rentable, pero las ventajas de la nueva normativa se verán mermadas si subsisten ciertas deficiencias de los actuales sistemas de pago, como el recurso habitual a conceptos no justificados para completar el precio base y las primas de calidad. La importancia de las primas como componentes del

precio percibido, así como su extrema variabilidad e independencia de las características del producto entregado, ha sido señalada en Cantabria por CALCEDO ORDÓÑEZ (1995a,b): "No es infrecuente que el productor perciba alguna remuneración sin saber bien por qué". Estas circunstancias dan lugar a "un mercado errático y sin sentido", en el que los ganaderos y los empresarios venden y compran "sin poseer unas mínimas reglas del mercado" (LÓPEZ FOLGUEIRA, 1995).

Objetivos

En este trabajo se persiguen dos objetivos principales: determinar el proceso de formación de los precios de la leche en origen a partir del precio base y primas por conceptos diversos (bonificaciones y penalizaciones) utilizadas por las industrias lácteas, y analizar la estructura de los ingresos de las explotaciones. En lo que se refiere al ámbito espacial de la investigación, estos objetivos requieren una localización de las explotaciones sometidas al estudio en una zona de gran producción lechera, como es la Comarca Central de la provincia de Lugo. En cuanto al ámbito temporal, exigen un seguimiento durante un intervalo de tiempo largo para analizar los períodos del año lechero y averiguar posibles diferencias en el comportamiento de las variables investigadas.

El pago en origen de la leche en España

Las primeras medidas para ordenar el mercado de la leche se establecen con el Decreto de 18 de abril y Orden de 31 de

julio de 1952 que llevan a la creación de las Centrales Lecheras y reglamentación de las Industrias Lácteas. El pago por calidad es contemplado por primera vez por el Decreto 2478/1966, y la Orden de 14 de agosto de 1967 establece el primer sistema de pago por calidad aplicable a ganaderos e industrias "a petición de parte", es decir voluntario.

Más adelante la Orden de 21 de marzo de 1971 establece la obligatoriedad del pago según grasa, acidez y peso específico, y el Decreto 3520/74 indica las condiciones que deben cumplir las liquidaciones en origen:

"En las adquisiciones de leche en origen la industria deberá realizar liquidaciones escritas individuales a cada ganadero o 'Grupo de ganaderos' en las que se especifiquen: el número de litros sobre los que se practica el precio real aplicado en origen, las primas o descuentos en función del sistema oficial de pago por calidad, debidamente justificados, y, en su caso, las primas complementarias establecidas por la industria o cualquier otro concepto que se incluya en el pago de la leche. Cuando la recogida se efectúe a través de un comisionista-recogedor podrá realizarse una única liquidación escrita a nombre de éste, indicando, además de los distintos conceptos que componen el precio de la leche, lo abonado como comisión, si ésta no figura en recibo aparte, en cuyo caso deberá obligatoriamente señalarse esta circunstancia. Este comisionista-recogedor estará obligado, y la industria así deberá notificárselo, a practicar liquidaciones individuales escritas a cada uno de los ganaderos de cuya leche se haga cargo".

En vísperas de la integración de España en la CE el R.D. 492/1985 ordena el establecimiento de un nuevo sistema de pago por calidad, y la Orden de 27 de junio de

1985 incluye, además del pago obligatorio por composición, el voluntario por calidad higiénica. El Reglamento (CEE) 804/68 establece la OCM en el sector de la leche y productos lácteos, y el Reglamento (CEE) 1411/71 las normas complementarias para los productos de la partida 04.01 del arancel aduanero común "Leche y nata, frescas, sin concentrar ni azucarar", con referencia al pago por calidad de la leche:

"Considerando, además, que para alcanzar el objetivo citado anteriormente por medio de una oferta de gran calidad, es necesario garantizar la entrega de leche fresca de calidad óptima a las industrias lácteas; que un medio de lograrlo es el pago con arreglo a la calidad de la leche entregada a las industrias lácteas y destinada a la producción de leche de consumo directo".

En los artículos 2 y 3 se señala que hay que garantizar la calidad a los consumidores, teniendo en cuenta el interés económico de los que participan en la producción y venta de leche:

"a) Leche: el producto procedente del ordeño de una o más vacas; b) leche de consumo directo: los siguientes productos destinados a su entrega en estado natural al consumidor:

– Leche cruda: leche que no haya sido calentada ni sometida a tratamiento de efecto equivalente

– Leche entera: leche que haya sido sometida, en una industria láctea, por lo menos a un tratamiento térmico o a un tratamiento de efecto equivalente autorizado y que, en lo referente a su contenido en materia grasa, responda a alguna de las fórmulas siguientes:

• Leche entera normalizada: el contenido en materia grasa se elevará al 3.50% como mínimo.

- Leche entera no normalizada: el contenido en materia grasa no haya sufrido modificación desde la fase de ordeño, ni por adición o deducción de materia grasa de la leche, ni por la mezcla con leche cuyo contenido natural en materia grasa haya sufrido modificación. No obstante, el contenido en materia grasa no podrá ser inferior al 3% (R. (CEE) 566/76)".

Los artículos 5 y 6 establecen la obligatoriedad del pago por calidad y contenido en grasa:

"En las regiones en las que el contenido natural en materia grasa de la leche producida no alcance el 3,50%, y en las que un aumento del porcentaje de la materia grasa hasta el previsto en la letra b) del apartado 1 del artículo 3 para la leche entera "normalizada" (d) tuviere dificultades como consecuencia de una falta de materia grasa de la calidad adecuada procedente de la leche, los Estados miembros podrán permitir no obstante lo dispuesto anteriormente, que la leche producida en tales regiones sea vendida como leche entera "normalizada" (d) en las mismas. No obstante, dicha leche no podrá haberse sometido a ningún desnatado; habrá de tener un contenido en materia grasa mínimo del 3,20%. (d) R. (CEE) 566/76".

Para corregir la disparidad de las legislaciones de los Estados Miembros que impide conseguir todos los efectos derivables de la OCM se aprueban varias disposiciones que facilitan los intercambios intracomunitarios, entre ellas la Directiva 85/397 que establece las normas sanitarias y de policía sanitaria para la leche tratada térmicamente. La armonización de estas disposiciones y su transposición al derecho español se realizan mediante el R.D. 362/1992 que en su Anexo A capítulo VI establece las condiciones de admisión de la leche cruda en el

establecimiento de tratamiento, y en el apartado D las normas para la leche de la explotación.

A los dos meses de la publicación del R.D. 362/1992 se aprueba la Directiva 92/46/CEE que extiende el ámbito de aplicación de las normas sanitarias y de policía sanitaria para los intercambios intracomunitarios contenidas en la Directiva 85/397/CEE (derogada a partir de 1994) a la producción y comercialización de leche y productos lácteos con destino al mercado interior. El capítulo II establece las condiciones para comercializar la leche de consumo tratada térmicamente:

"— Haberse obtenido a partir de leche cruda, depurada o filtrada mediante los equipos a que hace referencia la letra e) del capítulo V del Anexo B, que deberá: (....)

— Por lo que se refiere a la leche de vaca, ajustarse a lo dispuesto en la letra b) del apartado 1 del artículo 3 y en el apartado 3 del artículo 6 del Reglamento (CEE) n.º 1.411/71; (....) contener un mínimo de 28 gramos de materia proteica por litro".

La Directiva 92/46/CEE prevé el cumplimiento gradual de las normas gracias al mantenimiento transitorio de la distinción entre intercambios intracomunitarios y nacionales. Establece una clasificación de establecimientos elaboradores de productos lácteos a partir de 1994, pero contempla el aplazamiento temporal de algunos de los requisitos hasta finales de 1997. Con objeto de dar cumplimiento a esta Directiva se aprueba la Orden de 26 de mayo de 1993 que establece las condiciones para la solicitud de clasificación de establecimientos y concesión de excepciones temporales y limitadas a las normas comunitarias sanitarias para la producción y comercialización de leche cruda, leche de consumo tratada térmicamente y productos lácteos diversos.

El R.D. 1.679/1994 incorpora al derecho español las Directivas anteriores, y establece que sólo se comercializará leche si su contenido en grasa se ajusta a lo dispuesto en el párrafo b) del artículo 3 y apartado 3 del artículo 6 del Reglamento (CEE) 1.411/71 (capítulo II, artículo 5). Como se ha señalado anteriormente el mínimo de grasa es del 3,5% (3,2% en las regiones que así lo soliciten). Se establecen en 28 y 85 g/l los mínimos de proteína y extracto seco magro. En el Anexo A se determinan las condiciones de recepción de la leche en los establecimientos de tratamiento y/o transformación, y en el capítulo IV las normas para la recogida en la explotación, fijando para la leche cruda destinada a la producción de leche de consumo tratada térmicamente y productos lácteos los límites de 400.000 células somáticas y 100.000 gérmenes/ml a 30 °C a partir del 1.º de enero de 1998.

Materiales y métodos

Resulta difícil conocer los sistemas de pago de la leche en origen practicados por las industrias debido a su relativa complejidad (con múltiples conceptos que contribuyen de manera diversa a la conformación de los precios), que se ve agravada por su gran variabilidad. Esta variabilidad se define en el ámbito tanto temporal (modificaciones entre y dentro de campañas) como espacial (variaciones entre industrias y dentro de industrias entre ganaderos abastecedores). Los esquemas de pago de las industrias varían entre las mismas, y también entre los abastecedores de una misma industria. Estas circunstancias, que impiden que el mercado sea transparente o fluido, obligan a adoptar en esta investigación una

metodología específica basada en encuestas realizadas en el sector de la oferta en origen para averiguar los sistemas de pago practicados efectivamente a los ganaderos por los diversos agentes integrantes de la demanda (primeros compradores).

La investigación se ha centrado en explotaciones lecheras con elevadas cuotas de producción ubicadas en la comarca central de la provincia de Lugo o comarca III del Plan General de Comarcalización de España (Ministerio de Agricultura, 1978), que consta de 17 municipios. Esta comarca es una región de gran relevancia para el sector lechero gallego, tanto por el volumen de leche producida como por su estructura ganadera. Es la mayor de las cinco comarcas lucenses (ocupa el 24,2% de su territorio), y cuenta con un censo de 5.249 explotaciones y cuota de 178.983 tm. Estas cifras representan más de la cuarta parte de los totales provinciales. La cuota media resultante por explotación es de 34.098 kg. La participación de la provincia lucense en el sector lechero gallego es muy importante (FERNÁNDEZ, 1996). Galicia tiene un censo de 67.938 explotaciones y una cuota de 1.529.244 tm, con una cuota media que no llega a las 23 tm. El 27% del censo y el 43% de la cuota corresponden a Lugo, que constituye la primera provincia española en cuanto a aportación a la producción nacional de leche. En lo que se refiere a la participación gallega en el sector lechero español, resulta muy elevada ya que alcanza el 50 y 30% del censo y de la cuota respectivamente.

A partir del censo provincial de explotaciones vacunas de leche, en el que figuran las cuotas disponibles, se ha obtenido la relación de las ganaderías con cuota superior a las 100 tm, que constituyen la población investigada de dimensión $N = 282$. Para elegir una muestra representativa de

tamaño n se ha utilizado el procedimiento del muestreo aleatorio estratificado, dividiendo la población en cuatro estratos de acuerdo con la dimensión de la cuota disponible:

$N_1 = 197$ (cuotas de 100 a 149 tm), $N_2 = 56$ (cuotas de 150 a 199 tm), $N_3 = 18$ (cuotas de 200 a 299 tm), $N_4 = 11$ (cuotas de más de 299 tm).

La asignación de la muestra de cada estrato se ha realizado de forma proporcional, es decir que se ha elegido mediante muestreo aleatorio simple un número $n_i = nW_i$ de individuos en cada estrato, donde $W_i = N_i/N$ representa la ponderación correspondiente al estrato i ($i = 1, 2, 3, 4$).

Para la determinación del tamaño de la muestra n para estimar proporciones se utiliza la expresión de COCHRAN (1982):

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{con } n_0 = \frac{\sum W_i p_i q_i}{V}$$

siendo p_i la estimación de la proporción en estrato i , y $q_i = 1 - p_i$.

Bajo la hipótesis de que la proporción siga una distribución normal, la varianza deseada en la estimación de p en la población total es $V = (e/z_{\alpha/2})^2$, donde e denota el margen de error admitido en la estimación, y $z_{\alpha/2}$ el punto crítico obtenido de la distribución normal standard para un nivel de confianza prefijado $1 - \alpha$. Se ha considerado la situación más desfavorable con $p = q = 1/2$, un error $e = 0,1$ y un nivel de confianza $1 - \alpha = 0,90$. Por lo tanto, para un error muestral del 10 por cien:

$$n = \frac{N}{4NV + 1} \quad \text{con } V = (0,1/1,64)^2$$

obteniéndose los tamaños muestrales total y por estratos $n = 55$, $n_1 = 38$, $n_2 = 11$, $n_3 = 4$, $n_4 = 2$.

Se han analizado las liquidaciones mensuales entregadas por las industrias lácteas a los ganaderos durante el año 1995. Se han procesado los datos y elaborado los resultados referentes a las entregas mensuales de leche, precios percibidos y precios base, bonificaciones y penalizaciones diversas, y componentes de los ingresos de los ganaderos. A continuación se han considerado los dos períodos de otoño-invierno (meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre) y primavera-verano (abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre) para poner de manifiesto posibles diferencias estacionales entre las variables investigadas mediante pruebas de comparación de medias previa verificación de homocedasticidad por el test de Levene con análisis de la varianza modelo factorial simple mediante el programa SPSS.

Resultados y discusión

Los resultados se han elaborado a partir de los datos recogidos en 50 explotaciones, ya que entre la determinación de la muestra y la toma de datos un ganadero del segundo estrato dio por terminada su actividad acogiendo al primer plan gallego de abandono de la producción lechera, quedando por lo tanto excluido de la investigación, y otros 4 ganaderos se negaron a colaborar en el estudio. Se analizaron 585 recibos. En el caso de tres explotaciones faltaron uno, tres y siete recibos respectivamente. Por otra parte se descartaron tres recibos correspondientes a dos explotaciones en los que sólo constaba el importe por venta de leche, y los recibos de diciembre de dos explotaciones en los que figuraban entregas muy por debajo de lo normal y precios muy aumentados (estas situaciones pueden presentarse

cuando se sobrepasa la cuota asignada). Por último, un ganadero ha presentado dos recibos para las ventas correspondientes a un mismo mes.

Las explotaciones entregan su leche a un total de 15 industrias lácteas (tres explotaciones entregan su leche a dos empresas distintas): Coresa y Larsa (9 explotaciones); Lácteos Lence (8 explotaciones); Leitulla y Central L. Vallisoletana (4 explotaciones); Lácteos Val do Miño, Lagasa y Besnier (3 explotaciones); Pascual, Completa y Puleva (2 explotaciones); Chataca-Leyma, Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar, Medela y Danone (1 explotación). Las entregas a las industrias se elevan a un total de 9.779.021 litros, con medias por explotación de 195.580 l/año y 16.750 l/mes.

Formación del precio percibido y estructura de los ingresos

El precio percibido (cuadro 1) se forma a partir del precio base y primas por grasa y

proteína, que figuran con gran regularidad en los recibos, y otros 32 conceptos de primas diversas que contribuyen de manera muy irregular a su configuración en mayor o menor grado: primas por calidad higiénica, cantidad, pertenencia a cooperativas, colaboración con el control lechero, y otras primas sin justificación. Este precio alcanza una media de 49,14 ptas./l, algo superior a las 47,7 ptas./l calculadas por Barbeyto NISTAL (1995) para el conjunto de 1.507 explotaciones participantes en el programa de gestión de la Consellería de Agricultura, Gandería e Montes de la Xunta de Galicia, con producción media de 138.000 litros y cuota superior a las 100 tm en el 55,5% de los casos.

El principal componente del precio percibido es el precio base, que aparece en todas las liquidaciones aunque con 10 denominaciones distintas: "Precio base" (Lácteos Lence, Lácteos Val do Miño, Coresa, Medela y Completa), "Prima base" (Leitulla), "Precio indicativo" (Danone), "Precio leche" (Lagasa y Sociedad Cooperativa San

CUADRO I
FORMACIÓN DEL PRECIO PERCIBIDO POR VENTA DE LECHE
TABLE I
MILK PRICE FORMATION

	Media (pta/l)	Mínimo (pta/l)	Máximo (pta/l)	% sobre precio percibido
Precio percibido	49,14	40,21	59,18	100,00
Precio base	39,34	33,69	52,00	80,06
Desviación (*)	9,80	-2,92	19,50	19,94
Prima calidad	1,31	-2,46	6,50	2,66
- prima grasa	0,83	-1,47	3,44	1,69
- prima proteína	0,47	-2,16	3,50	0,96
Otras primas diversas	8,49	-3,00	15,50	17,28

(*) Desviación = precio percibido - precio base

Mamed de Nodar algunos meses del año), “Leche del mes” (Puleva y Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar algunos meses del año), “Precio” (Pascual), “Leche tipo A” (Besnier), “Leche de vaca” (Central Lechera Vallisoletana), “Prezo “ (Larsa), y “Leite fresco” (Chataca-Leyma). Representa el 80,06% del precio percibido, con un promedio de 39,34 ptas./l. La desviación precio percibido-precio base equivale al

19,94% del precio percibido, con una media de 9,80 ptas./l.

Para el pago por calidad química las industrias toman como referencia porcentajes mínimos de grasa y proteína y multiplican las desviaciones por determinados coeficientes (cuadro 2). No existe un patrón uniforme, observándose hasta 10 modalidades distintas de pago por calidad para el

CUADRO 2
COEFICIENTES APLICADOS POR LAS EMPRESAS PARA EL PAGO POR CALIDAD QUÍMICA
TABLE 2
INDUSTRY COEFFICIENTS FOR CHEMICAL QUALITY PAYMENT

ER:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E	G	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
F	G	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,54	0,54	0,54	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
M	G	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,54	0,54	0,54	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
A	G	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,54	0,54	0,7	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
M	G	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,54	0,7	0,7	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
J	G	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,54	0,7	0,7	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
J	G	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
A	G	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
S	G	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
O	G	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
N	G	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8
D	G	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4/0,5
	P	0,54	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	1/0,8	0,6/0,8

ER: empresas receptoras 1. Chataca-Leyma, 2. Pascual, 3. Medela, 4. Lagasa, 5. Central Lechera Vallisoletana, 6. Larsa, 7. Puleva, 8. San Mamed de Nodar, 9. Complexa, 10. Leitulla, 11. Danone, 12. Besnier, 13. Lácteos Lence, 14. Lácteos Val do Miño, 15. Coresa. G: grasa. P: proteína.

conjunto de las 15 industrias, con variaciones a lo largo del año en el caso de 5 empresas.

El porcentaje mínimo de grasa es siempre el 3,7%. Las décimas superiores o inferiores a esta cifra se multiplican por los coeficientes 0,4 ó 0,5 según empresas y período. Puleva, Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar, Complexa, Leitulla, Besnier, Lácteos Lence y Lácteos Val do Miño utilizan el coeficiente 0,4 todo el año para bonificaciones y penalizaciones, y Danone el 0,5. Chataca-Leyma aplica el 0,4 para bonificaciones pero no penaliza el precio aunque el contenido en grasa resulte inferior al mínimo. Pascual pasa del 0,4 al 0,5 en febrero, Central Lechera Vallisoletana en abril, Lagasa en mayo, y Medela y Larsa en julio. Coresa emplea el coeficiente 0,4 para bonificaciones y 0,5 para penalizaciones.

El contenido mínimo en proteína exigido es el 3,1% en todos los casos. Los coeficientes son superiores a los de la grasa pero los ingresos resultantes son en general más

bajos debido al menor contenido en proteína. Se observan 6 coeficientes distintos que van desde 0,5 a 1. La mayoría de las empresas emplean el mismo coeficiente para bonificaciones y penalizaciones, con la excepción de Lácteos Val do Miño (1 y 0,8) y Coresa (0,6 y 0,8). Chataca-Leyma y Besnier no imponen penalizaciones aunque la proteína sea inferior al mínimo. El coeficiente aumenta durante el año en 5 empresas, y en las demás permanece estable.

Las primas por calidad suponen una pequeña parte (2,66%) del precio percibido, con 1,31 ptas./l de media (cuadro 1). Dentro de la escasa importancia de estas primas, la preponderancia de la grasa sobre la proteína es notable, con medias de 0,83 y 0,47 ptas./l respectivamente.

La mayor fracción de la desviación precio percibido-precio base corresponde a otras primas diversas que llegan al 17,28% del precio percibido y media de 8,49 ptas./l, de importancia desigual y frecuencia variable en los recibos (cuadro 3): primas relacionadas con la calidad bacteriológica (2,71

CUADRO 3
OTRAS PRIMAS DIVERSAS APLICADAS POR LAS EMPRESAS RECEPTORAS
TABLE 3
OTHER INDUSTRY EXTRA PAYMENTS

	N(*)	Media (ptas./l)	Mínimo (ptas./l)	Máximo (ptas./l)
Prima bacteriología	260	2,71	-3,00	4,50
Prima cantidad	241	5,24	0,50	10,80
Prima cooperativa	123	1,31	0,75	6,00
Atrasos	5	2,93	1,17	4,00
Control lechero	24	0,30	0,30	0,30
Otras primas sin justificar	334	8,43	0,75	15,50

(*) N: n.º de liquidaciones donde figura cada prima.

ptas./l), cantidad (5,24 ptas./l), pertenencia a cooperativas (1,31 ptas./l), referencias a atrasos (2,93 ptas./l), control lechero (0,3 ptas./l), y otras primas sin justificar (8,43 ptas./l).

Normalmente las industrias tienen en cuenta la calidad bacteriológica para el pago de la leche, pero se observan prácticas comerciales muy diversas. Algunas establecen bonificaciones que desaparecen o disminuyen cuando se superan los 100.000 gérmenes/ml. En otros casos sólo el excesivo número de gérmenes da lugar a penalizaciones. En casos aislados no aparecen descuentos aunque la calidad bacteriológica sea mala. A veces resulta imposible separar el pago por calidad bacteriológica de otros conceptos: como se ha señalado anteriormente Besnier se refiere al precio base con la denominación "Leche tipo A", y de esta forma aparece reflejada la calidad higiénica sin referencia específica a la bacteriología.

Lagasa utiliza la prima "Clase extra" para la leche con menos de 100.000 gérmenes y 400.000 células/ml. "Calidad e higiene" es una penalización de Central Lechera Vallisoletana que varía entre -1 y -3 ptas./l. Asimismo "Gratificación bacteriológica" de Larsa corresponde en realidad a una penalización de -1 ptas./l. "Calidad bacteriológica" de Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar es una prima que puede tomar los valores de -1 y 1 ptas./l. Esta misma cooperativa utiliza a veces un "Descuento bacteriología" de -2 ptas./l. "Prima calidad higiénica" de Lácteos Val do Miño toma valores de 1,5 y 2,5 ptas./l. "Calidad higiénica" es una prima de 4 ptas./l de Medela. "Prima Bacteriología" para Leitulla varía entre 1,5 y 2 ptas./l, y para Coresa entre 2,5 y 4,5 ptas./l.

Muy pocas industrias utilizan el recuento celular para el pago por calidad: Lagasa (se considera en su prima "Clase extra") y

Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar (solamente en diciembre con un descuento de 1 ptas./l).

Se detectan pagos relacionados con el volumen de leche entregada en liquidaciones de 6 industrias, pero en la mayoría de los casos resulta imposible relacionar efectivamente estas primas con el concepto que su denominación invoca. Figuran con las siguientes denominaciones: "Prima por cantidad" (Chataca-Leyma entre 2,95 y 4,55 ptas./l, y Besnier entre 0,5 y 8 ptas./l), "Prima por cantidad o abono" (Lagasa entre 1,5 y 6 ptas./l), "Prima producción" (Lácteos Val do Miño entre 2,19 y 3,97 ptas./l, y Medela entre 1 y 2 ptas./l), y "Prima volumen" (Leitulla entre 6 y 10,5 ptas./l).

El concepto de ausencia de antibióticos sólo da lugar a una prima de 1 ptas./l de Lagasa.

La comercialización de la leche se realiza de manera cooperativa en 6 de las 15 empresas receptoras, y 3 de ellas tienen en cuenta esta circunstancia para el pago al ganadero. En todas las liquidaciones realizadas por las cooperativas Coresa y Lácteos Val do Miño se concede una prima adicional constante de 1 y 0,75 ptas./l respectivamente, y en las de Chataca-Leyma de 2 a 6 ptas./l.

La prima por control lechero es muy poco frecuente, observándose solamente en dos empresas con el valor de 0,3 ptas./l: Besnier ("Complemento control lechero"), y Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar ("PCR" y "Prima control lechero").

Las referencias a atrasos mencionan el mes anterior a la liquidación en la que aparecen, pero su importe está relacionado con los litros vendidos en el mes correspondiente al recibo. Se ha observado su utilización por tres empresas con las siguientes deno-

minaciones: "Diferencia mes anterior" (Lagasa 4 ptas./l), "Abono por diferencia" (Lácteos Lence 1,5 ptas./l), y "Abono por diferencia mes anterior" (Puleva 1,7 ptas./l).

Por último se han observado otras numerosas primas inespecíficas de denominaciones y valores muy variables: "Otros" (Pascual entre 8 y 10,43 ptas./l), "Prima 1" (Compleza entre 9 y 14,5 ptas./l), "Prima por 1" (Leitulla entre 0,75 y 4 ptas./l), "Regularización precio" (Besnier entre 2 y 10 ptas./l), "Complemento por litro especial a" (Danone entre 2 y 10 ptas./l), "Complemento por litro especial b" (Danone 2 ptas./l), "Prima complemento " (Puleva 9 ptas./l, y Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar entre 6 y 8 ptas./l), "RC" (Puleva entre 1 y 6 ptas./l, y Sociedad Cooperativa San Mamed de Nodar entre 1 y 3,5 ptas./l), "Prima c" (Lácteos Lence entre 3 y 7 ptas./l), "Calidad extra" (Lácteos Lence 2 ptas./l), "Prima" (Larsa entre 2 y 13 ptas./l), "Diferencias" (Larsa entre 0,5 y 14 ptas./l), "Prima especial" (Lagasa entre 3 y 7

ptas./l), y "Clase extra" (Lagasa entre 2 y 4,5 ptas./l).

Los precios y primas observados en este estudio pueden compararse con las estimaciones que la Xunta de Galicia, Consellería de Agricultura, Gandería e Montes e Instituto Galego de Estadística (1995) ofrecen en su publicación mensual "Prezos e Índices de Prezos Agrarios. Leite", correspondientes a 460 explotaciones participantes en la campaña de saneamiento ganadero y la "Enquisa a Explotacións de vacún" de diciembre 1994, elegidas sin muestreo estadístico previo y distribuidas según la cantidad teórica de leche vendida cada mes en 5 estratos: el primero se reserva a leche sin refrigerar, y los restantes a entregas inferiores a 2.000 litros, de 2.000 a 3.499 litros, de 3.500 a 5.999 litros, de 6.000 a 9.999 litros, y de 10.000 litros ó más. Las medias anuales de los valores estimados para el último estrato, el más afín a la población investigada en este trabajo, se ofrecen en el cuadro 4 para explotaciones de la provincia de

CUADRO 4
MEDIAS ANUALES (1995) DE LOS COMPONENTES DEL PRECIO TOTAL DE LA LECHE (EN PTAS./L)

TABLE 4
ANNUAL MEANS (1995) FOR THE MILK PRICE COMPONENTS (IN PTAS./L)

	LUGO	GALICIA
Precio total	49,00	49,08
Precio base	38,71	38,56
Prima calidad	1,21	1,41
– Prima grasa	0,72	0,81
– Prima proteína	0,49	0,60
Prima bacteriología	0,33	0,38
Otras primas	8,76	8,73

Elaboración a partir de los datos de "Prezos e Índices de Prezos Agrarios. Leite" de la Xunta de Galicia, Consellería de Agricultura, Gandería e Montes e Instituto Galego de Estadística, 1995. Estrato de entregas ≥ 10.000 litros mensuales.

Lugo y de toda Galicia. Puede observarse que precios y primas resultan muy similares, con excepción de la prima por calidad bacteriológica que esta fuente sitúa en 0,33-0,38 ptas./l, muy lejos de las 2,71 ptas./l de nuestro estudio.

Los ingresos por venta de leche (cuadro 5) totalizan 487,361 millones ptas. y se deben en un 78,99% al precio base, en un 2,81% a las primas calidad (grasa y proteína), y en un 18,20% a las otras primas diversas.

Análisis por períodos

Como puede observarse en el cuadro 6, la leche vendida por las explotaciones resulta menor ($P<0,05$) en otoño-invierno que en primavera-verano, con medias de 16.042 y 17.447 l/mes respectivamente. Los precios percibido y base varían en sentido inverso a las entregas: más altos ($P<0,01$) en otoño-invierno (50,40 y 39,97 ptas./l) que en primavera-verano (47,89 y 38,72 ptas./l). Las desviaciones entre los dos precios son más altas ($P<0,01$) en otoño-invierno (10,44 ptas./l) que en primavera-verano (9,17

ptas./l), así como las primas por calidad (1,75 y 0,87 ptas./l). Estas diferencias se aprecian para los dos componentes de las primas por calidad, grasa y proteína, que alcanzan medias en otoño-invierno (1,08 y 0,67 ptas./l) que representan aproximadamente el doble de las de primavera-verano (0,59 y 0,28 ptas./l). Por el contrario no se aprecian diferencias significativas para el conjunto de las otras primas, con una media de 8,49 ptas./l.

Se observa por lo tanto, además del conocido fenómeno de variación en sentido inverso de precios y entregas de leche, otros dos fenómenos de interés: una variación significativa de las desviaciones entre precio percibido y precio base y primas por calidad, más altas en otoño-invierno que en primavera-verano, y un comportamiento estable a lo largo del año de las otras primas. El análisis de estos fenómenos relacionados con precios y cantidades permite conocer su efecto sobre el comportamiento de otras variables de gran interés para la gestión como son los ingresos de las explotaciones.

Entregas, precios y primas contribuyen a la determinación de los ingresos por precio

CUADRO 5
ESTRUCTURA DE LOS INGRESOS POR VENTA DE LECHE
TABLE 5
MILK INCOME STRUCTURE

Ingresos por	Totales (ptas.)	% sobre ingresos por precio percibido
Precio percibido	487.361	100
Precio base	384.963	78.99
Prima calidad	13.681	2.81
– prima grasa	8.486	1.74
– prima proteína	5.195	1.07
Otras primas diversas	88.717	18.20

CUADRO 6
ANÁLISIS POR PERÍODOS
TABLE 6
PERIODICAL ANALYSIS

Variabes	Media población entera	Media otoño-invierno	Media primavera-verano	Test de Levene	Análisis de la varianza
Entregas mensuales	16.750 L	16.042 L	17.447 L	F = 0,850 P = 0,357	F = 3,875 P = 0,049
Precio percibido	49,14 ptas./l	50.40 ptas./l	47.89 ptas./l	F = 17,758 P = 0,000	F = 127,601 P = 0,000
Precio base	39,34 ptas./l	39.97 ptas./l	38,72 ptas./l	F = 5,281 P = 0,022	F = 23,543 P = 0,000
Desviación p. percibido - p. base	9,80 ptas./l	10.44 ptas./l	9,17 ptas./l	F = 3,181 P = 0,075	F = 13,976 P = 0,000
Prima calidad	1,31 ptas./l	1,75 ptas./l	0,87 ptas./l	F = 5,344 P = 0,021	F = 59,511 P = 0,000
– prima grasa	0,83 ptas./l	1,08 ptas./l	0,59 ptas./l	F = 1,749 P = 0,186	F = 46,244 P = 0,000
– prima proteína	0,47 ptas./l	0,67 ptas./l	0,28 ptas./l	F = 3,231 P = 0,073	P = 39,190 P = 0,000
Otras primas diversas	8,49 ptas./l	8,68 ptas./l	8,30 ptas./l	F = 1,723 P = 0,190	F = 1,368 P = 0,243
Ingresos por precio percibido	833.096 ptas.	820.147 ptas.	845.826 ptas.	F = 0,062 P = 0,804	F = 0,442 P = 0,507
Ingresos por precio base	658.057 ptas.	640.772 ptas.	675.049 ptas.	F = 0,245 P = 0,621	F = 1,467 P = 0,226
Ingresos por prima calidad	23.386 ptas.	30.431 ptas.	16.460 ptas.	F = 6,902 P = 0,009	F = 30,393 P = 0,000
– ingresos por prima grasa	14.505 ptas.	18.385 ptas.	10.691 ptas.	F = 2,175 P = 0,141	F = 26,057 P = 0,000
– ingresos por prima proteína	8.881 ptas.	12.046 ptas.	5.770 ptas.	F = 3,328 P = 0,069	F = 22,257 P = 0,000
Ingresos por otras primas diversas	151.653 ptas.	148.943 ptas.	154.317 ptas.	F = 0,002 P = 0,963	F = 0,256 P = 0,613

N.º de casos: población entera N = 585, otoño-invierno N = 290, primavera-verano N = 295.

percibido, que se elevan a 833.096 ptas./mes y no presentan variaciones estacionales significativas. La estabilidad de los ingresos por precio percibido no se deriva directamente del comportamiento descrito de precios y entregas mensuales de leche, con diferencias estacionales y en sentido contrario significativas, y para comprender

sus causas hay que analizar el comportamiento de los ingresos intermedios:

– Los ingresos por precio base, con un promedio de 658.057 ptas./mes, no presentan variaciones significativas.

– Los ingresos por calidad son más altos ($P < 0,01$) en otoño-invierno (30.431 ptas./

mes) que en primavera-verano (16.460 ptas./mes), con variaciones estacionales muy significativas tanto de los ingresos por grasa (18.385 y 10.691 ptas./mes en otoño-invierno y primavera-verano) como por proteína (12.046 y 5.770 ptas./mes). Esta variabilidad surge de las grandes diferencias estacionales de las primas por grasa y proteína, mucho más altas en otoño-invierno que en primavera-verano, a pesar de que las entregas de leche son más bajas en el primer período que en el segundo.

– Los ingresos por otras primas diversas no presentan variaciones estacionales, situándose en un promedio de 151.653 ptas./mes. Las diferencias en las entregas no son suficientemente elevadas para transmitirse a estos ingresos en la situación de estabilidad de las primas diversas.

El mecanismo por el cual se mantienen constantes los ingresos mensuales de las explotaciones por venta de leche, que constituyen lo que a veces se denomina muy expresivamente dada su regularidad “el salario de los ganaderos”, consiste por lo tanto simplemente en la adecuación por las industrias del precio base a las entregas: compensan la disminución de la producción en otoño-invierno con un precio base más elevado, y al revés en primavera-verano. Así se alcanza la estabilidad de los ingresos por precio base.

Esta estabilidad no se ve afectada por los ingresos por prima calidad, que varían en el mismo sentido que el precio base y en sentido inverso a las entregas, debido a su escaso peso frente a los ingresos por precio base: contribuyen por lo tanto en grado menor y subsidiario a la compensación de la variación en las entregas que se realiza con la adecuación del precio base. Los ingresos por prima calidad no juegan un papel primordial, ya que si bien es cierto

que varían en sentido contrario a las entregas (así como las mismas primas por grasa y proteína), su importancia es muy limitada (como la de estas primas), y su participación en la formación de los ingresos totales es muy pequeña (así como la participación de estas primas en la formación del precio percibido). Por último los ingresos por otras primas, importante complemento constante a lo largo del año, contribuyen a que la estabilidad de los ingresos por precio base se transmita a los ingresos por precio percibido.

Conclusiones

La formación del precio percibido por la venta de leche es un proceso complejo debido a los múltiples conceptos que intervienen de manera tanto regular (precio base y primas por calidad grasa y proteína) como irregular (otras primas diversas por calidad higiénica, cantidad, pertenencia a cooperativas, participación en el control lechero, numerosas primas sin justificación), a las diferentes denominaciones que las industrias utilizan para identificar estos conceptos, y a las múltiples variaciones resultantes en los sistemas de pago, a lo que hay que añadir el importante peso de las primas no identificadas y la falta general de explicaciones en los recibos.

En la estructura de los ingresos de las explotaciones destaca la escasa participación de los ingresos por calidad grasa y proteína en comparación con los ingresos por otras primas diversas.

Se observa que los ingresos totales por venta de leche se mantienen constantes a lo largo del año, configurando el “salario” de los ganaderos. Los ingresos por precio base

y primas diversas presentan la misma estabilidad. Los ingresos por prima calidad son los únicos que presentan variaciones estacionales, pero su influencia resulta limitada dado su escaso peso. La estabilidad de los ingresos mensuales de las explotaciones parece lograrse por lo tanto simplemente con la determinación por las industrias de un precio base compensatorio acorde con las circunstancias de la producción, bajo en primavera-verano cuando las entregas de leche son mayores y alto en otoño-invierno cuando las entregas son menores.

Bibliografía

- AGABRIEL C., COULON J.B., BRUNSCHWIG G., SIBRA C., NAFIDI C., 1995. Relations entre la qualité du lait livré et les caractéristiques des exploitations. INRA Productions Animales. 8 (4), 251-258.
- BALLESTERO E., 1973. Principios de Economía de la empresa. Alianza Editorial S.A., Madrid, 492 pp.
- BARBEYTO NISTAL F., 1995. Explotación de vacún de leite en Galicia. Manexo técnico e resultados económicos. Ano 1995. Ed. Servicio de Estudios e Publicacións da Secretaría Xeral da Consellería de Agricultura, Gandería e Montes da Xunta de Galicia, 65 pp.
- BEGUIN M., 1994. La qualité du lait: point de vue des transformateurs et conséquences sur le système de paiement. Rec. Méd. Vét., 170 (6/7), 345-351.
- CALCEDO ORDÓÑEZ V., 1995a. Balance de la aplicación del régimen de cuotas lecheras en la España húmeda. Revista Española de Economía Agraria. (3), 79-111.
- CALCEDO ORDÓÑEZ V., 1995b. La industria láctea de Cantabria: rasgos de su actividad y perspectivas de futuro. Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Cantabria. Santander 148 pp.
- CASTAÑEDA J., 1968. Lecciones de Teoría Económica (Microeconomía: consumo, producción, precios y rentas). Biblioteca de Ciencias Sociales. Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, 739 pp.
- COCHRAN W.G., 1982. Técnicas de muestreo. Editorial Continental S.A., México, 513 pp.
- COMMISSION EUROPEENNE 1997. Cahiers de la PAC. Lait et produits laitiers. Edition 1996/97. Direction Générale de l'Agriculture. Information, rapports, publications, études et documentation. Bruxelles, 43 pp.
- CORDONNIER P., 1986. Economie de la production laitière. Technique et Documentation Lavoisier-INRA, Paris, 218 pp.
- CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE 1989. Comparaison de la qualité du lait matière-première entre quelques grands bassins laitiers de la C.E.E. Caen, 67 pp.
- DÍAZ YUBERO M.A., 1997. La calidad de la leche. Un objetivo común para ganaderos e industriales. Frisona Española. Vol. XVII (100), 64-68.
- ESTRUCH GUITART V., 1994. La calidad y las explotaciones agrarias. Investigación Agraria: Economía. Vol. 9 (3), 345-358.
- FABRE J.M., SERIEYS F., 1994. Objectifs et stratégie de l'entreprise laitière pour la gestion de la qualité de sa collecte. Rec. Méd. Vét. Vol. 170 (6/7), 457-467.
- FERNÁNDEZ G., 1996. La economía agraria gallega en 1995. Ed. Promed. Madrid, 377 pp.
- ILE, 1996. (Editorial) Tendencia a la baja en los precios de la leche en origen durante las últimas semanas. (207), 12.
- LANGREO NAVARRO A., 1994. La situación y los cambios recientes en el sistema lácteo español. Efectos en la industria. Revista Española de Economía Agraria. (4), 115-142.
- LÓPEZ FOLGUEIRA F., 1995. Sector lácteo: volver a intentarlo. Frisona Española. XV (89), 38-39.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1978. Comarcalización Agraria de España. Documento de trabajo nº 8. Secretaría General Técnica, Madrid, 154 pp.
- VANDENBERGHE N., 1995. Breve Teoría del Mercado para la Economía Agraria. Editorial Acirbia S.A., Zaragoza, 243 pp.
- XUNTA DE GALICIA, CONSELLERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA E MONTES E INSTITUTO GALEGO DE ESTADÍSTICA, 1995. Prezos e Índices de Prezos Agrarios. Leite. Xaneiro-décembro. 19 pp.

(Aceptado para publicación el 22 de junio de 1998)

USO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL EN ESQUEMAS DE CONSERVACIÓN O MEJORA ANIMAL

J. Fernández

M.A. Toro

Área de Mejora Genética Animal

Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias

Crta. Coruña Km 7

28040 Madrid

España

RESUMEN

La programación lineal es una herramienta de optimización que ha sido utilizada en diferentes aspectos dentro de la producción animal. Pero su uso en la selección de reproductores, en la confección de los esquemas de apareamiento o en la elección conjunta de ambos (selección de apareamientos o *mate selection*) no está todo lo extendida que debiera en parte por los problemas computacionales que supone.

En este trabajo se realiza una revisión de las situaciones más habituales dentro del campo de la mejora y la conservación genéticas en las que el uso de técnicas de programación lineal sería recomendable comparándolas con otros métodos propuestos. En cada caso se sugiere el algoritmo más eficiente y sencillo para obtener la solución. También se presenta un pequeño resumen de programas y rutinas disponibles para resolver problemas de programación lineal.

Palabras clave: Programación lineal, Selección de apareamientos, Control de la consanguinidad.

SUMMARY

THE USE OF LINEAR PROGRAMMING IN CONSERVATION AND ANIMAL BREEDING SCHEMES

Linear programming is an optimization tool widely used in animal production. But it is not so commonly used when selecting parents for next generation, deciding the mate scheme or in the joint election (*mate selection*). In part this is due to computing difficulties to carry on this analysis.

In this work we review the most frequent situations in animal breeding and conservation genetics where the use of linear programming techniques should be recommended. In every case we suggest the most efficient and easiest algorithm to get the solution. A short summary of programmes and routines available to solve linear programmes is also presented.

Key words: Linear programming, Mate selection, Inbreeding control.

Introducción

Aunque las técnicas de programación lineal se han utilizado ampliamente en el contexto de la producción animal, por ejemplo en la elaboración de las raciones nutricionales óptimas, en el ámbito de la mejora genética animal su utilización ha sido mucho más restringida habiéndose realizado las primeras aplicaciones en el contexto de la utilización óptima de semen en vacuno lechero (SCHENEERBERGER *et al.*, 1981).

En el área más específica de la optimización de los apareamientos una de las primeras aplicaciones fue en el diseño de apareamientos de mínimo parentesco (TORO *et al.*, 1988). La otra área importante de aplicación de la programación lineal es la selección de apareamientos (mate selection) que puede definirse como la selección simultánea tanto de los reproductores de la siguiente generación como de la forma en que van a aparearse. El término fue acuñado por ALLAIRE (1977) quien puso en cuestión la separación tradicional de la actividad de la mejora genética en dos etapas consecutivas, primero la selección y luego el apareamiento de los individuos previamente seleccionados y señaló que en muchas situaciones es preferible realizar una única etapa en la que se seleccionan los mejores apareamientos de todos los posibles.

Posteriormente y en diferentes ocasiones (ALLAIRE, 1980; JANSEN y WILTON, 1984; JANSEN y WILTON, 1985; SMITH y ALLAIRE, 1985; KINGHORN, 1987; ALLAIRE, 1993) se ha puesto de manifiesto que las técnicas de programación lineal son el método óptimo para llevar a cabo la elección de reproductores o la manera de realizar los apareamientos entre ellos. Pero cuando a nivel práctico un mejorador se plantea usar éstas en su esquema de selección se encuentra ante un problema: la mayoría de los progra-

mas comerciales o rutinas de uso corriente están orientados a resolver casos muy generales a través de algoritmos complejos. Si no se dispone de una estación de trabajo potente posiblemente no habrá suficiente memoria para manejar las matrices que requieren los programas en cuanto el número de animales en el esquema sea moderado. El problema se agudiza si lo que pretendemos es realizar estudios de simulación donde la lentitud de estos algoritmos, unida al número de repeticiones necesario para obtener resultados fiables, limitan en exceso la potencialidad del método. Es por ello que en la mayoría de los casos se deja de lado la programación lineal aún sabiendo que es el método óptimo.

En el presente estudio revisamos algunas de las aplicaciones de la programación lineal indicando los algoritmos que pueden ser más eficientes para su implementación en ordenadores y su uso en programas de mejora.

En el Apéndice se hace un resumen del software disponible tanto para ordenadores personales como para estaciones de trabajo con los que resolver problemas de programación lineal.

Modelización del problema

Un esquema de mejora se reduce a elegir un conjunto de combinaciones entre los machos y hembras disponibles para obtener la siguiente generación. Si, por ejemplo, deseamos seleccionar y aparear d hembras con s machos ($d > s$) a partir de un número S y D de candidatos de cada sexo el número de combinaciones posibles es

$$\binom{S}{s} \cdot \binom{D}{d} \cdot d! \quad (1)$$

lo que, obviamente, requiere un algoritmo eficiente para su solución. Un acercamiento muy simple al problema sería la ordenación de las posibles parejas por su valor y la elección correlativa de las mismas (eliminando los elementos implicados en las combinaciones ya utilizadas); pero esta forma de actuar no tiene por qué rendir el mejor resultado conjunto (y en algunos casos no lo hará). De aquí la necesidad de utilizar sistemas de elección que garanticen un resultado global óptimo en cualquier situación.

Programación lineal

Se denomina programación lineal al conjunto de procedimientos y algoritmos enfocados a la resolución de un programa lineal. La formulación general del mismo es la siguiente

maximizar (minimizar) la función $\sum_{i=1}^n c_i x_i$
sujeta a

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{1i} x_i &\geq b_1 \\ \sum_{i=1}^n a_{2i} x_i &\geq b_2 \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n a_{mi} x_i &\geq b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n &\geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

La función a maximizar es de tipo lineal y se denomina *función objetivo*; cada una de las x_i se denominan *variables de decisión* y lo que buscamos son los valores para los que el problema se optimiza; las constantes c_i son los coeficientes que indican el

beneficio (si maximizamos) o coste (si minimizamos) de cada una de las variables de decisión. Las ecuaciones o inecuaciones que aparecen a continuación, también lineales, se denominan *restricciones* del programa lineal y suponen las condiciones adicionales que debe cumplir la solución; todas las a_{ij} son distintos coeficientes que afectan a cada variable. La última de las restricciones hace referencia a que ninguna de las variables tomará valores negativos.

La resolución de un programa lineal general se aborda habitualmente a través del *método simplex*, desarrollado en 1947 por George B. Dantzig, ya que cualquier problema, una vez reformulado y tras añadir ciertas variables auxiliares, puede ser resuelto con este algoritmo (DE LA FUENTE, 1993; Ríos, 1988).

Programación lineal entera

La solución obtenida por la aplicación del método simplex sobre un problema lineal es un vector de números reales. Pero en muchas ocasiones las variables de decisión no serán continuas pudiendo tomar realmente sólo valores enteros. Se deberá incluir en nuestro programa lineal una restricción que tenga en cuenta esta propiedad.

Así ocurre en los programas de mejora cuando se intenta optimizar la elección de reproductores o el esquema de apareamientos dado que un animal sólo puede ser utilizado un número entero de veces. Se impone pues el uso de métodos de programación lineal entera. Los algoritmos más corrientes son los denominados de *ramificación y acotación* (*branch and bound*) y suponen un grado más de complejidad matemática y computacional (DE LA FUENTE, 1993; Ríos, 1988).

Problemas de transporte

Un caso especial, dentro de la última categoría, es el de asociar una serie de orígenes con una serie de destinos (minimizando o maximizando el proceso) sujeto a la restricción de las disponibilidades o demandas de cada origen o destino; a este tipo se denomina *problema de transporte* porque los primeros estudios se realizaron sobre la estrategia de coste mínimo para abastecer una serie de fábricas desde unos puntos de almacenaje determinados. Como cualquier programa lineal entero podemos formularlo de manera genérica, pero su estructura característica aconseja representarlo en notación matricial con tantas filas como orígenes y tantas columnas como destinos: cada una de las casillas resultantes llevará el coste o beneficio de unir un origen y un destino determinado. Por último se añaden una fila y una columna adicional en la que se encontrarán las disponibilidades y las demandas respectivamente.

Aunque más simples que los métodos para resolver problemas de programación entera general, los métodos de transporte siguen siendo relativamente complejos para programar y no se encuentran implementados en programas comerciales.

Problema de asignación

Si en un problema tipo transporte ocurre que las disponibilidades y demandas de todos los orígenes y destinos son iguales a la unidad la nueva tabla puede prescindir de la última fila/columna y los únicos valores que podrá tomar una variable serán cero y uno. Esta situación corresponde a un *problema de asignación*.

En bastantes situaciones de optimización en la elección de reproductores o del esque-

ma de apareamientos podemos asimilar el proceso a un problema de asignación. De esta forma los orígenes serían los machos disponibles y los destinos las hembras con que contamos. En cada casilla de la matriz formada por tantas filas como machos y tantas columnas como hembras tendríamos el valor de aparear un macho y una hembra determinados (que obtendríamos según el criterio de valoración elegido). La variable de decisión asociada a esa casilla valdría uno si ese apareamiento fuera elegido o cero si no se incluye en la combinación óptima.

La resolución de problemas de asignación puede abordarse perfectamente por los métodos citados en el apartado de programación lineal entera o por algoritmos característicos de los problemas de transporte, pero esta estrategia resultaría poco eficiente y por tanto lenta. En 1954 Kuhn propuso el *método húngaro* (DANTZIG, 1963): una heurística que resuelve problemas de asignación de forma muy eficiente. Aunque con variantes que se han ido introduciendo para mejorarlo el método húngaro tiene las siguientes características:

- La asignación óptima no se ve afectada si sumamos o restamos una misma constante a todos los elementos de una fila o columna de la matriz de asignación.

- Si todos los elementos de la matriz (costes) son no negativos una asignación óptima equivalente será aquella que tenga tantos ceros independientes (pertenecen a filas y columnas diferentes) como elementos origen o destino.

- En la situación anterior el valor de la función objetivo será cero (límite inferior para cualquier vector solución).

El método húngaro es pues un algoritmo de minimización que busca una asignación

de ceros independientes: las posiciones en que queden esos ceros serán las relaciones (apareamientos) elegidas. Si lo que queremos es maximizar la función objetivo solo tendremos que transformar la matriz de asignación multiplicando todos los costes por -1 o sustituyendo cada elemento por la diferencia con el mayor de los costes de la matriz (Ríos, 1988).

La implementación en un ordenador del método húngaro es sencilla y la velocidad de resolución muy superior a la de algoritmos generales de programación lineal entera ya que se limita a la suma o resta de valores a filas y columnas de la matriz de asignación (matriz de costes o beneficios de todos los apareamientos posibles).

Un inconveniente que presentan los problemas de asignación es que deben ser equilibrados (mismo número de orígenes que de destinos). Pero esta cuestión se puede obviar fácilmente con la inclusión de individuos ficticios que "completen" la matriz (en un apartado posterior se explicará cómo se realiza este proceso).

Programación cuadrática

La propia naturaleza de los esquemas de mejora conduce en muchos casos, como se verá posteriormente, a la formulación de programas que incluyen términos no lineales de las variables de decisión (cuadrados o productos concretamente). Este tipo de problemas tienen una mayor complejidad y no existe un algoritmo "universal" como ocurría en la programación lineal que permita abordar cualquier caso (Ríos, 1988). Por ello buscaremos transformaciones para situaciones específicas que permitan evitar los programas no lineales.

Aplicaciones prácticas

Vamos a exponer a continuación una revisión de situaciones usuales dentro del campo de la mejora en las que las técnicas de programación lineal pueden suponer beneficios sobre los métodos convencionales.

Apareamiento

Aunque cronológicamente la elección de reproductores (selección) es anterior a la determinación de los apareamientos a realizar, por razones didácticas, abordaremos en primer lugar aquellos casos en los que los individuos reproductores están escogidos (por cualquier criterio) y tenemos que encontrar el esquema de apareamientos idóneo.

Tradicionalmente los programas de selección ponen un mayor énfasis en los criterios de elección de reproductores y una vez realizada ésta se asume que los apareamientos se determinan al azar. Pero existen circunstancias en las que el mérito genético de la siguiente generación depende del sistema de apareamiento. Algunas de ellas son a) aprovechamiento de la heterosis si se trabaja con varias razas, b) existencia de efectos no aditivos, c) mérito combinación no lineal de varios caracteres, d) elegir un sistema de apareamiento que produzca otro tipo de beneficios como una menor consanguinidad o una menor varianza de la respuesta. En estos casos es conveniente realizar apareamientos dirigidos (KINGHORN, 1987). El criterio para organizar los mismos, en el caso de que las peculiaridades del carácter (baja heredabilidad, etc) lo aconsejen, puede ser alguno de los expuestos a continuación.

* Mínimo parentesco

WRIGHT (1921) denominó apareamientos de máxima evitación de la consanguinidad a un sistema regular de apareamientos que evita aparear los parientes en la medida que sea posible en una población de censo 2^k ($k=2, 3, 4, \dots$). De forma más general en una población de cualquier censo se denominan apareamientos de mínima consanguinidad a aquellos en los que, una vez elegidos los machos y hembras reproductores por el criterio correspondiente, se realizan los apareamientos que minimicen el parentesco medio entre las parejas (y por tanto la consanguinidad de su descendencia). TORO *et al.* (1988) y TORO y PÉREZ-ENCISO (1990) han sugerido que este tipo de apareamientos pueden implementarse mediante técnicas de programación lineal. CABALLERO *et al.* (1996) consideran que este es un buen sistema para controlar la consanguinidad sobre todo en situaciones que, por sus características, tiendan a aumentos grandes de este parámetro (evaluaciones BLUP en poblaciones de censo pequeño). En ese mismo trabajo se propone una mejora del sistema acoplando la elección de los apareamientos de mínima consanguinidad a un esquema de apareamiento compensatorio (GRUNDY *et al.*, 1994; SANTIAGO y CABALLERO, 1995; CABALLERO *et al.*, 1996).

En programas de conservación el control de la consanguinidad se convierte en el factor crítico ya que habitualmente se trabaja con poblaciones de censo reducido y no hay un interés por seleccionar para un carácter sino más bien por mantener los niveles actuales de todos ellos. Por tanto un esquema de apareamientos de mínimo parentesco parece una medida adecuada para estas situaciones como se ha puesto de manifiesto en programas de conservación de cerdo Ibérico (RODRIGÁNEZ *et al.*, 1994). El esquema característico en este tipo de pro-

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^d f_{ij} x_{ij} \\
 & \text{s.a.} \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^d x_{1j} \geq 1 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^d x_{sj} \geq 1 \end{array} \right. \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^s x_{i1} = 1 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^s x_{id} = 1 \end{array} \right. \quad (3) \\
 & \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^d x_{ij} = d \\
 & x_{ij} \Rightarrow \text{entera} \quad i = 1, \dots, s \quad j = 1, \dots, d \\
 & 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, s \quad j = 1, \dots, d
 \end{aligned}$$

blemas supone un número menor de machos que de hembras apareando cada una de ellas una vez y los machos un número fijo de veces (igualando al máximo el número de apareamientos en los que participa cualquiera de los machos para minimizar la varianza del tamaño familiar). Aunque no sea lo habitual se podría proponer un esquema más general en el que se permite participar a cada macho en un número variable de apareamientos (al menos uno); en forma de programa lineal sería donde f_{ij} es el parentesco entre el macho i y la hembra j , las variables x_{ij} son cero o uno según se elija o no ese apareamiento y el número total de apareamientos será igual al número de hembras (d) que tenemos seleccionadas.

El esquema tradicional igualando el número de apareamientos en los que participan los machos se presenta en el apartado de ejemplos de esta misma sección.

* Máximo parentesco, máxima (o mínima) aptitud combinatoria específica (A. C. E.)

Recientemente varios autores han propuesto sistemas de apareamiento que permiten aprovechar los efectos genéticos no aditivos. Así TORO (1993) ha sugerido combinar un apareamiento de máxima consanguinidad para perpetuar la población junto con apareamiento de mínima consanguinidad para producir los animales comerciales. FÜRST *et al.* (1997) consideran que la mejor respuesta se obtiene si se maximiza la A. C. E. (entendida como el valor esperado de la descendencia de un apareamiento concreto). Cualquiera de los esquemas anteriores puede implementarse a través de la programación lineal. De hecho los autores del último trabajo reconocen que este método es el óptimo pero no lo abordan por problemas de computación (al igual que ya se comentó que ocurre en muchos programas de mejora).

Cuando hay acción génica sobredominante podría utilizarse la programación lineal en un esquema con doble criterio: obtención de la siguiente generación buscando la mínima A. C. E. (se obtendrán muchos homocigotos) y apareamiento de máxima A. C. E. para generar la población

comercial (se elegirán las combinaciones que rindan muchos heterocigotos).

* Ejemplos

Cualquiera de los casos presentados tienen la misma estructura para implementar los mediante programación lineal. Sólo se diferencian en el valor que se va a dar a cada uno de los apareamientos, si queremos maximizar o minimizar el resultado así como en la relación entre el número de machos y hembras y el número de veces que apareará cada individuo. Para cada una de las posibilidades se explica cuál es el algoritmo más simple de programación lineal que debería ser utilizado (asignación siempre que se pueda). En general podemos encontrarnos las siguientes situaciones.

– El número de machos (s) es igual al número de hembras (d) apareando cada uno de ellos una vez.

Esta situación corresponde a un problema de asignación pura y la matriz a introducir en el algoritmo será directamente la que contenga los valores de comparación para cada cruce, bien sea el parentesco o la A. C. E.. (multiplicado por -1 si lo que queremos es maximizar). En la salida los apareamientos elegidos serán los que posean ceros marcados (representados aquí por círculos) que equivale a decir que las varia-

♀	1	2	3	...	d
♂					
1	○			...	
2				...	○
3		○		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
s			○	...	

bles de decisión asociadas a esas casillas son igual a uno y el resto cero.

– El número de machos (s) es menor que el número de hembras (d); cada hembra se aparee una sola vez, y cada macho se aparee $r = d/s$ veces.

$$s = 3, d = 6, r = 2$$

♀	1	2	3	4	5	6
♂						
1 ¹	○					
1 ²			○			
2 ¹					○	
2 ²		○				
3 ¹						○
3 ²				○		

Si por alguna razón queremos que machos determinados apareen más o menos veces que los demás sólo tendremos que repetirlos tantas veces como queramos que esto ocurra. El número r ahora no será igual para cada macho pero como de todas las filas se escoge un apareamiento se mantendrá el objetivo pretendido.

En la práctica puede que queramos evitar el uso de un apareamiento concreto (diferencia de edad entre el macho y la hembra, costes de transporte, etc.). Esto se consigue asociando a su casilla en la matriz de asignación un valor mucho menor que el de cualquiera de las otras combinaciones con lo que nos aseguramos que no se elegirá el apareamiento.

– El número de machos (s) es menor que el número de hembras (d) no siendo múltiplos el uno del otro; cada hembra se aparee una sola vez.

Se convierte en problema de asignación repitiendo cada macho el número de veces que se vaya a aparear (r); de esta manera igualamos las dimensiones de la matriz dejándola cuadrada. En la salida cada fila tendrá un apareamiento elegido y por tanto todos los machos se aparearán el número de veces r que habíamos supuesto.

Cuando el número de hembras no es múltiplo del número de machos éstos últimos intervendrán en un número diferente de apareamientos. Si no tenemos preestablecido qué macho se apareará más (como en el párrafo anterior) el problema deja de ser de asignación y, siendo a_{ij} el valor que asignemos al apareamiento del macho i y la hembra j (ya sea el parentesco, la A. C. E., etc.), pasaría a formularse como

$$\begin{aligned} \max(\min) \quad & \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^d a_{ij} x_{ij} \\ \text{s. a.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^d x_{1j} \geq g \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^d x_{sj} \geq g \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

donde g es el número mínimo de veces que cada macho aparee (habitualmente se hace

g igual a la parte entera de s/d de manera que se iguala en la medida de lo posible el número de apareamientos en los que participa cada macho y las hembras sobrantes se asignan a los machos que tengan un mayor valor)

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^s x_{i1} = 1 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^s x_{id} = 1 \end{array} \right. \quad (5)$$

para garantizar que cada hembra se escoge una vez

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^d x_{ij} = d \quad (6)$$

porque el número de apareamientos total va a ser el número de hembras disponible

$$x_{ij} \Rightarrow \text{entera} \quad i = 1, \dots, s \quad j = 1, \dots, d$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, s \quad j = 1, \dots, d \quad (7)$$

para que cada combinación de macho y hembra se elija una sola vez o no se elija.

Selección de apareamientos

Cuando el mérito de la progenie no es la media de los méritos de los padres se puede imponer una elección simultánea de los individuos que contribuirán a la próxima generación y el esquema de apareamientos entre ellos. Como señalábamos en la introducción en esta situación ALLAIRE (1977) propuso realizar una selección de apareamientos (*mate selection*) de manera que lo que se seleccionan no son individuos sino parejas de individuos con respecto al mérito específico de su apareamiento. Varios autores han comparado diferentes métodos

de aplicación de la selección de apareamientos (JANSEN y WILTON, 1984; ALLAIRE, 1980; ALLAIRE 1993) llegando a la conclusión de que las técnicas de programación lineal ofrecen mejores resultados que otras técnicas convencionales cuando hay interacción entre machos y hembras a la hora de calcular el mérito (las mismas consideraciones que en el caso de los apareamientos).

La selección direccional sobre un carácter lleva al aumento de la consanguinidad en una población ya que si un individuo presenta un valor elevado para el criterio de selección sus parientes probablemente también lo presentarán coseleccionando individuos emparentados que aparearemos entre sí; esto es más importante en métodos de evaluación como el BLUP en el que la información familiar tiene un gran peso (sobre todo si la heredabilidad del carácter es pequeña o si está limitada a un solo sexo). En ocasiones se ha tratado de paliar este efecto reduciendo la importancia de la información familiar en el BLUP o realizando las evaluaciones suponiendo una heredabilidad del carácter mayor que la real (TORO y PÉREZ-ENCISO, 1990; GRUNDY *et al.*, 1997 para la última revisión). Una alternativa es incluir consideraciones sobre la consanguinidad en el programa de selección utilizando la selección de apareamientos de forma que se maximice el progreso genético pero con la restricción adicional de que el valor de la consanguinidad no sobrepase un determinado valor prefijado de antemano (TORO y PÉREZ-ENCISO, 1990; TORO *et al.*, 1991).

* Maximizar respuesta con restricción en la consanguinidad

Por comodidad, y para simplificar los esquemas, habitualmente se considera que cada individuo contribuye a la siguiente

generación con el mismo número de hijos que otro individuo seleccionado de su mismo sexo. Pero podría ejercerse un mejor control simultáneo del carácter a mejorar y la consanguinidad si permitimos una contribución diferencial de los parentales, siguiendo el mismo razonamiento que utilizan TORO y NIETO (1984) y que se expondrá más tarde. Esta contribución diferencial se consigue permitiendo que cada individuo participe en un número diferente de apareamientos, que de cada apareamiento se obtengan un número diferente de hijos o ambas cosas a la vez.

Si disponemos de S machos y D hembras como candidatos a la selección y deseamos seleccionar y aparear un número no prefijado de individuos de forma que se maximice el progreso genético pero controlando el incremento en consanguinidad por generación el programa lineal sería

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D x_{ij} \hat{a}_{ij} \\ \text{s. a.} \quad & \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D x_{ij} = N \\ & \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D \frac{x_{ij} f_{ij}}{N} \leq F + \Delta F \\ & x_{ij} \text{ entera } i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \\ & x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (8)$$

donde $\hat{a}_{ij}$ es el mérito medio predicho de los descendientes del apareamiento entre el individuo i y el j , f_{ij} el parentesco entre ambos y $N = S + D$ es el número total de individuos que tenemos que obtener para que el tamaño de la población se mantenga constante (igual al número de machos más hembras de partida); las variables pueden tomar un valor mayor que uno por lo que cada apareamiento rinde un número variable de hijos y, como no hay restricciones

para la suma de las variables a lo largo de filas ni de columnas, cada individuo puede formar parte de diferente número de parejas. El valor de las variables en la solución nos dice el número de hijos a obtener de cada apareamiento pero no cuál va a ser su sexo. Se puede completar el modelo sustituyendo todas las x_{ij} por $(x_{ij} + y_{ij})$ siendo x el número de hijos macho e y el número de hijos hembra; en la práctica puede ser conveniente poner límite superior a las variables para conseguir una solución realista en cuanto al número de hijos que hay que obtener de un mismo apareamiento. Para asegurar no sólo el mismo número de individuos en la siguiente generación (N) sino también la misma relación de sexos (S y D) debemos incluir las restricciones

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D x_{ij} &= S \\ \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D y_{ij} &= D \end{aligned} \quad (9)$$

El caso expuesto podría ser la situación más general ya que permitimos una contribución diferencial de machos y hembras en cuanto al número de hijos que obtenemos de cada individuo y en cuanto al número de apareamientos en que participa cada padre. Este esquema factorial no podía ser abordado en la práctica por las limitaciones en el uso de las hembras (menor tasa reproductiva) excepto en acuicultura. Pero las nuevas técnicas de transplante de embriones y de fecundación *in vitro* amplían el número de apareamientos en los que puede intervenir una hembra.

Una forma de encontrar la solución óptima que cumpla la restricción impuesta (ya sea sobre la consanguinidad u otro carácter) sería modificando la función objetivo de manera que resulte:

max

$$\left(\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D \hat{a}_{ij} x_{ij} \right) - \lambda \left(\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D f_{ij} x_{ij} \right) \quad (10)$$

donde λ es un coeficiente que indica la importancia relativa que va a tener el control del criterio restrictivo y que dependerá del problema concreto que consideremos. Si operamos en la última expresión llegamos a

$$\max \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D (\hat{a}_{ij} - \lambda f_{ij}) x_{ij} \quad (11)$$

que nos indica que la corrección respecto del condicionante podemos hacerla directamente sobre los coeficientes en un paso previo a la programación lineal en sí simplificando la formulación. Así el problema podría resolverse por métodos de asignación como se explicará con detalle en los ejemplos al final de este apartado.

Tanto el incluir la limitación en las restricciones como el hacerlo en la función objetivo precisa del conocimiento previo de un factor (máximo incremento permitido por generación o valor del parámetro λ que corresponde a dicho límite).

Si se puede calcular la pérdida económica que tiene el incremento de consanguinidad se puede construir un programa lineal con la función objetivo (11) donde el factor de ponderación λ será precisamente el peso económico y no habrá que imponer más restricciones que las necesarias para mantener la estructura deseada de la población.

Con objeto de controlar la consanguinidad no sólo en la siguiente generación sino a más largo plazo podemos considerar el parentesco de los hijos en vez del parentesco de los padres (consanguinidad de los hijos). Pero, obviamente, el parentesco medio de los hijos va a depender sólo de la contribución de cada padre y no de la for-

ma en que estos se apareen. De esta manera el problema se reduce a la elección de los reproductores y sus contribuciones pudiendo posteriormente imponer alguno de los esquemas de apareamiento explicados con anterioridad, por ejemplo el de mínimo parentesco.

TORO *et al.* (1991) y TORO y PÉREZ-ENCISO (1990) estudiaron situaciones más sencillas en las que se fijaba el número de apareamientos y se forzaba una contribución igual para las hembras (en el primer trabajo) o para machos y hembras (en el segundo). En este último caso cada individuo sólo participa en uno de los k apareamientos escogidos para generar la siguiente generación y de cada apareamiento se obtiene un número fijo de hijos (S/k) e hijas (D/k) a través de un programa lineal de este tipo

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D x_{ij} \hat{a}_{ij} \\ & \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D x_{ij} = k \\ & \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D \frac{x_{ij} f_{ij}}{k} \leq F + \Delta F \\ & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^D x_{1j} \leq 1 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^D x_{Sj} \leq 1 \end{array} \right. \quad (12) \\ & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^S x_{i1} \leq 1 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^S x_{iD} \leq 1 \end{array} \right. \\ & x_{ij} \Rightarrow \text{entera} \quad i = 1, \dots, S \quad j = 1, \dots, D \\ & 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, S \quad j = 1, \dots, D \end{aligned}$$

donde S y D son el número de machos y hembras evaluados respectivamente, k es el número de apareamientos que vamos a elegir (cada macho o hembra sólo puede intervenir en un apareamiento), f_{ij} es el parentesco del padre i y la madre j , F es el coeficiente de consanguinidad de la población en la generación en que nos encontramos y ΔF es el máximo incremento de la consanguinidad que permitimos por generación. Si cambiamos el grupo de restricciones que limitan el número de apareamientos para cada macho (primera llave) poniendo como límite un número mayor que uno el esquema sería el planteado por TORO *et al.* (1991) en el que se permite más de un apareamiento para cada macho. Este número se determina usualmente por razones prácticas de manejo, pero es un factor que puede afectar críticamente al aumento de la consanguinidad en la población. Simulaciones por ordenador han puesto de manifiesto la superioridad de este tipo de esquema frente a otras alternativas. Además bajo este planteamiento se pueden obtener respuestas para el carácter de interés comparables a las de selección sin restricciones manteniendo un grado de consanguinidad pequeño.

El caso en el que el número de individuos seleccionados por sexo no es igual, aunque fijo, implica que la contribución de machos y hembras será diferente. La resolución del mismo a través de un programa lineal se puede ver en la sección de ejemplos al final de este apartado.

NOMURA y YOMEZAWA (1994) construyeron un programa lineal similar a los ya explicados pero incluyendo restricciones (tantas como posibles apareamientos) del tipo

$$x_{ij} f_{ij} \leq fMAX \quad (13)$$

asegurando que, además de mantener la consanguinidad media baja, el parentesco de cualquier pareja de padres será menor que $fMAX$. Este grupo de restricciones puede hacer que apareamientos con un mérito muy alto queden automáticamente descartados por pasar el umbral de parentesco impuesto: en el esquema precedente esto no ocurre dando oportunidad a que exista compensación entre los dos criterios opuestos (mejora y consanguinidad).

Todo lo explicado tiene la misma aplicación cuando el factor restrictivo no es la consanguinidad sino la evolución de otro carácter. Aún cuando en el criterio de mejora sólo incluyamos el carácter de interés cualquier otro correlacionado con el primero sufrirá una modificación en el proceso. Si estamos interesados en que alguno de estos caracteres no se modifique (mantenga niveles bajos) tendremos que incluir restricciones en el modelo que tengan en cuenta esta situación.

TORO y SHILO (1992) compararon mediante simulación un programa lineal en el que se buscaba la mejora del peso al destete en vacuno de carne limitando las ganancias en peso al nacimiento con otros sistemas como el uso de un índice restringido, BLUP restringido o simplemente selección por truncamiento en machos y hembras que no superasen un valor máximo de peso al nacimiento. De nuevo la programación lineal consigue respuestas similares a otros métodos con un control eficiente del carácter restrictivo y, además, presenta mayor robustez frente a errores en las estimas de la correlación genética entre los caracteres opuestos.

* Minimizar consanguinidad con restricciones

Un acercamiento alternativo al problema del aumento de la consanguinidad fue pro-

puesto por KLEVE *et al.* (1994). Cuando nuestro objetivo principal no es el aumento de la expresión de un carácter sino su mantenimiento a niveles aceptables dentro de una población se puede plantear un programa lineal en que tengamos que minimizar una función objetivo que representa el parentesco medio de los padres apareados

$$\min \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^D f_{ij} x_{ij} \quad (14)$$

La restricción que aparecería ahora (además de todas las relativas al número de machos y hembras elegidos, la no negatividad, etc.) impondría que el mérito genético medio de los apareamientos elegidos no bajase de un mínimo

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^D \frac{\hat{a}_{ij} x_{ij}}{k} \geq M \quad (15)$$

donde M es el valor medio mínimo que queremos que mantenga el carácter en la población y k el número de apareamientos. Argumentando de la misma manera que en el primer caso de selección de apareamientos la restricción que refiere al carácter puede incluirse directamente en la función objetivo ponderada por un factor, permitiendo el uso de algoritmos de asignación.

Este esquema podría ser usado en programas de conservación pues en ellos el censo suele ser pequeño (lo que hace necesario un control estricto de la consanguinidad) pero no buscamos otra cosa que mantener las características de la población (no hay selección direccional).

Cuando realmente tenemos interés en maximizar un objetivo y minimizar otro (no sólo mantenerlo por debajo o por encima de un límite) deberíamos utilizar técnicas de programación multicriterio (RO-

MERO, 1993) que se escapan de los planteamientos del presente trabajo. En estas condiciones se obtiene toda una serie de soluciones de compromiso y las reducciones en uno de los criterios que lleva el aumento en una unidad del otro criterio (*trade-offs*).

* Selección de apareamientos con dominancia

Si lo que se trata es de aprovechar en el proceso de mejora los efectos no aditivos que pueda tener el carácter ya comentamos en el apartado de los apareamientos que lo mejor es utilizar como criterio la A. C. E. FUERST *et al.* (1997) apuntan que la estrategia óptima debe ser la de utilizar este criterio para seleccionar los parentales y para dirigir los apareamientos simultáneamente. Se impone pues el uso de la selección de apareamientos a través de un programa lineal.

* Ejemplos

Al igual que hicimos en los apareamientos vamos a explicar cómo resolver los diferentes casos que se presentan cuando no hay criterios opuestos o ambos se conjugan en la función objetivo de manera que ninguno aparece en las restricciones. Las proporciones de machos y hembras tanto a nivel de individuos evaluados como de individuos seleccionados así como la igualdad o no de las contribuciones por paternidad van a determinar la estrategia para resolver cada una de las situaciones.

En este método conjunto para elegir los reproductores y los apareamientos a realizar la dificultad que encontramos, si queremos tratarlo como un problema de asignación, es la de que no todos los individuos van a ser escogidos por lo que se precisa la inclusión de individuos ficticios.

– El número de machos candidatos (S) es igual al número de hembras candidatas (D); número de individuos seleccionados (s) igual en los dos sexos (un apareamiento por individuo).

El número de machos y hembras que no van a ser elegidos será ($S - s$) por tanto añadiremos ese número de filas y columnas de individuos ficticios (F). El valor dado al apareamiento entre un individuo real y uno ficticio será mayor que cualquiera de los

reales para que se asignen el máximo de apareamientos posibles de ese tipo ($S - s$). Sin embargo el valor del apareamiento entre individuos ficticios debe ser menor que cualquiera de los reales para que nunca sean escogidos (no tendría sentido haber incluido esos individuos). En la salida sólo utilizaremos los apareamientos elegidos entre individuos reales siendo los ($S - s$) apareamientos sobrantes entre un individuo real y uno ficticio.

$S = 6, s = 4, (S - s) = 2$

♀	1	2	3	4	5	6	F1	F2
σ								
1	○						+	+
2							+	○
3							○	+
4				○			+	+
5		○					+	+
6					○		+	+
F1	+	+	○	+	+	+	-	-
F2	+	+	+	+	+	○	-	-

– El número de machos candidatos (S) es menor que el número de hembras candidatas (D); número de individuos seleccionados (s) igual en los dos sexos (un apareamiento por individuo).

El proceso previo sobre la matriz de coeficientes incluye ahora dos pasos. Primero tendremos que añadir ($D - S$) machos de relleno (R) para igualar dimensiones y des-

pués ($S - s$) machos y hembras ficticios para absorber los apareamientos sobrantes (F). Al final habremos añadido tantas filas como hembras sobran y tantas columnas como machos sobran (norma de aplicación general). La asignación de valores a las casillas de cruces en los que está implicado un individuo ficticio se realizará según el criterio expuesto en el caso anterior.

$S = 5, D = 6, s = 4$

♀	1	2	3	4	5	6	F1
σ							
1	○						+
2					○		+
3							○
4				○			+
5		○					+
R1	+	+	○	+	+	+	-
F1	+	+	+	+	+	○	-

– El número de machos candidatos (S) es igual o diferente al número de hembras candidatas (D); d hembras seleccionadas que aparean una sola vez y un número variable de machos seleccionados que aparean un máximo de r veces.

Repetimos cada macho r veces: igualamos dimensiones añadiendo $(r*S - D)$ hembras o $(D - r*S)$ machos (dependiendo cuál de las cantidades es mayor); por último añadimos $(D - d)$ machos y hembras o $(r*S - d)$ machos y hembras dependiendo del paso anterior para que absorban los apareamientos sobrantes (la asignación de valores

ficticios se explicó anteriormente). En la salida obtenida para este esquema observaremos que habrá machos que no se apareen (no seleccionados), otros se aparearán una, dos, ..., hasta r veces.

No es práctico poner el número máximo de apareamientos por macho (r) muy alto porque podríamos encontrarnos con situaciones en las que la asignación óptima fuera la de aparear un sólo macho con todas las hembras seleccionadas (lo que no es muy conveniente si tratamos de mantener la consanguinidad en valores moderados).

$S = 5, D = 6, d = 4, r = 2$

♀	1	2	3	4	5	6	R1	R2	R3	R4	F1	F2
♂												
1 ¹	○						+	+	+	+	+	+
1 ²							○	+	+	+	+	+
2 ¹						○	+	+	+	+	+	+
2 ²					○		+	+	+	+	+	+
3 ¹							+	○	+	+	+	+
3 ²			○				+	+	+	+	+	+
4 ¹							+	+	+	+	○	+
4 ²							+	+	+	○	+	+
5 ¹							+	+	+	+	+	○
5 ²							+	+	○	+	+	+
F1	+	○	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
F2	+	+	+	○	+	+	-	-	-	-	-	-

– S machos candidatos y D hembras candidatas; número variable de machos y hembras seleccionados que contribuyen un máximo de r hijos (los machos) y t hijos (las hembras). Se obtiene un total de N descendientes.

Este es el esquema general de contribuciones diferenciales. Repetimos cada macho r veces y cada hembra t veces; igualamos dimensiones añadiendo $(r*S - t*D)$ hembras o $(t*D - r*S)$ machos (dependiendo cuál de las cantidades es mayor); por

último añadimos $(r * D - N)$ machos y hembras o $(r * S - N)$ machos y hembras dependiendo del paso anterior absorbiendo tantos apareamientos como se precise. El resultado conseguido en esta ocasión presentará

todas las posibilidades: desde machos y hembras que no se apareen (no seleccionados), hasta aquellos que se apareen r y t veces con un mismo individuo o con varios.

$$S = 5, D = 6, d = 4, r = 2$$

♀	1 ¹	1 ²	2 ¹	2 ²	3 ¹	3 ²	4 ¹	4 ²	R1	F1
♂										
1 ¹	○								+	+
1 ²									○	+
1 ³								○	+	+
2 ¹					○				+	+
2 ²						○			+	+
2 ³			○						+	+
3 ¹									+	○
3 ²							○		+	+
3 ³		○							+	+
F1	+	+	+	○	+	+	+	+	-	-

— El número de machos candidatos (S) es igual o diferente al número de hembras candidatas (D); d hembras seleccionadas que apurean una sola vez y un número determinado de machos seleccionados (s) que aparean $r = d/s$ veces cada uno.

Esta situación no es posible abordarla como un problema de asignación ya que los machos o no se aparean o se van a aparear un número concreto de veces (r) sin posibles intermedios. Se impone la utilización de métodos de programación lineal entera. La función objetivo a maximizar (minimizar) será

$$\text{maximizar (minimizar)} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^D \hat{a}_{ij} x_{ij} \quad (16)$$

donde $\hat{a}_{ij}$ es el valor asignado al apareamiento del macho i con la hembra j y x_{ij} son las variables de decisión que indicarán si el apareamiento concreto es elegido o no (1, 0). Las restricciones que debemos imponerle precisan de la introducción de unas variables auxiliares (z_i), tantas como machos más hembras tengamos, que indicarán si el animal ha sido escogido (1, 0). Podemos ahora codificar todas las restricciones a cumplir de la siguiente manera:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^D x_{1j} - \left(\frac{d}{s}\right) z_1 = 0 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^D x_{Sj} - \left(\frac{d}{s}\right) z_S = 0 \end{array} \right. \quad (17)$$

para garantizar que cada macho se escoge $d/s = r$ veces o no se escoge

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^S x_{i1} - z_{1,S} = 0 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^S x_{iD} - z_{S+D} = 0 \end{cases} \quad (18)$$

para garantizar que cada hembra se escoge una vez (z aparece ahora multiplicada por uno) o no se escoge

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^S z_i = d \\ \sum_{i=S+1}^{S+D} z_i = s \end{cases} \quad (19)$$

asegurando que el número de machos y hembras seleccionados es el que esperábamos. Finalmente tenemos que exigir que todas las variables (x y z) únicamente tomen los valores cero o uno. Esto se consigue imponiendo que sean enteras y que estén en el intervalo $[0, 1]$

$$\begin{aligned} x_{ij} &\Rightarrow \text{entera} \quad i = 1, \dots, S \quad j = 1, \dots, D \\ z_i &\Rightarrow \text{entera} \quad i = 1, \dots, S + D \\ 0 \leq x_{ij} &\leq 1 \quad i = 1, \dots, S \quad j = 1, \dots, D \\ 0 \leq z_i &\leq 1 \quad i = 1, \dots, S + D \end{aligned} \quad (20)$$

Selección

Desde que se desarrolló la metodología de evaluación BLUP este ha sido el criterio de selección más utilizado; siguiendo el mismo los individuos se ordenan según su mérito genético realizándose posteriormente una selección por truncamiento. Pero los problemas de coselección apuntados anteriormente llevaron a diferentes autores a plantear esquemas que tuviesen en cuenta el control de la consanguinidad.

Una de las estrategias que se ha propuesto para controlar la consanguinidad es la de actuar sobre la distribución del tamaño familiar, esto es, sobre el número de individuos seleccionados que contribuye cada familia (TORO y PÉREZ-ENCISO, 1990). En el caso extremo de selección intrafamiliar la varianza de los tamaños familiares es mínima y por tanto el censo efectivo máximo mientras que si hacemos selección familiar la varianza es máxima y el censo efectivo el menor posible. Entre ambos métodos, como señalaron los autores del trabajo citado, existe toda una gama de posibilidades que siguen una distribución multi-hipergeométrica (todas las maneras de distribuir los k individuos seleccionados entre las k familias disponibles con un número máximo de n individuos por familia).

En el caso de que cada familia tenga un padre y una madre diferentes (el número de machos y hembras es igual, sólo se permite participar en un apareamiento a cada individuo seleccionado) el esquema que habría que plantear es el que minimiza la suma del cuadrado de los individuos que seleccionamos de cada familia (minimizar la varianza de la contribución por familias) con la restricción de que el mérito genético de la siguiente generación no baje de un valor determinado

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^k x_i^2 \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{i=1}^k \frac{x_i \bar{m}_i}{k} \geq M \\ & \sum_{i=1}^k x_i = k \\ & x_i \text{ entera} \quad i = 1, \dots, k \\ & x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (21)$$

donde $\bar{m}_i$ es la media de los x_{ij} individuos elegidos de la familia i (que son los mejores de dicha familia) y M el mínimo valor genético que esperamos alcanzar en la siguiente generación. Pero de esta manera, además de ser un programa cuadrático, observamos que las $\bar{m}_i$ no son constantes sino variables dependientes del valor que tome x_{ij} en cada familia.

Este esquema se puede convertir en un programa lineal suponiendo que ahora tenemos variables de decisión x_{ij} que tomarán el valor uno cuando la familia i contribuya j individuos a los seleccionados ($j = 0, \dots, k$) o cero si su contribución es diferente. La formulación sería la siguiente

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^k x_{ij} j^2 \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^k \frac{x_{ij} j m_{ij}}{k} \geq M \\ & \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^k x_{ij} j = k \end{aligned} \quad (22)$$

siendo N_m el número de machos, N_f el número de hembras, S_{mm}^2 , S_{mf}^2 , S_{fm}^2 , S_{ff}^2 la varianza del número de machos que deja cada macho, del número de hembras que deja cada macho, del número de machos

$$\begin{cases} \sum_{j=0}^k x_{1j} = I \\ \vdots \\ \sum_{j=0}^k x_{Nfj} = I \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} x_{ij} & \text{ entera } i = 1, \dots, k \quad j = 0, \dots, k \\ 0 \leq x_{ij} & \leq 1 \quad i = 1, \dots, k \quad j = 0, \dots, k \end{aligned}$$

de manera que no sólo conseguimos poner todo en forma lineal sino que ahora las m_{ij} son constantes que representan la media de los j mejores individuos elegidos en la familia i .

Cuando el número de machos y hembras es diferente el modelo se complica pues ahora para controlar el censo efectivo hay que tener en cuenta las varianzas del número de hijos macho que se selecciona de cada macho, del número de hijos hembra que se selecciona de cada macho y lo mismo respecto de las hembras según la fórmula de HILL (1979)

$$\begin{aligned} \frac{I}{N_e} = \frac{I}{16N_m} & \left[2 + S_{mm}^2 + 2 \left(\frac{N_m}{N_f} \right) S_{mm.mf} + \left(\frac{N_m}{N_f} \right)^2 S_{mf}^2 \right] + \\ & + \frac{I}{16N_f} \left[2 + S_{ff}^2 + 2 \left(\frac{N_f}{N_m} \right) S_{ff.fm} + \left(\frac{N_f}{N_m} \right)^2 S_{fm}^2 \right] \end{aligned} \quad (23)$$

que deja cada hembra o del número de hembras que deja cada hembra y $S_{mm,mf}$, $S_{ff,fm}$ las correspondientes covarianzas.

Si se opera en la fórmula (23) se puede alcanzar la siguiente expresión

$$\begin{aligned} \frac{I}{Ne} = \frac{I}{16N_m^2} & \left(\frac{N_m}{\mu_{mm}} + \frac{N_m}{\mu_{mf}} - 4N_m + \frac{\sum_{i=1}^{N_m} x_{mm}^2}{\mu_{mm}^2} + \frac{2 \sum_{i=1}^{N_m} x_{mm} x_{mf}}{\mu_{mm} \mu_{mf}} + \frac{\sum_{i=1}^{N_m} x_{mf}^2}{\mu_{mf}^2} \right) + \\ & + \frac{I}{16N_f^2} \left(\frac{N_f}{\mu_{ff}} + \frac{N_f}{\mu_{fm}} - 4N_f + \frac{\sum_{i=1}^{N_f} x_{ff}^2}{\mu_{ff}^2} + \frac{2 \sum_{i=1}^{N_f} x_{ff} x_{fm}}{\mu_{ff} \mu_{fm}} + \frac{\sum_{i=1}^{N_f} x_{fm}^2}{\mu_{fm}^2} \right) \end{aligned} \quad (24)$$

que depende de la suma de los cuadrados de las contribuciones o de los productos de contribuciones. Minimizando la parte variable de esta fórmula se consigue el máximo Ne .

En forma lineal este problema puede resolverse asignando variables 0, 1 a todas

las combinaciones de familia de macho o familia de hembra con el número de hijos e hijas que puede contribuir. Suponiendo un esquema en el que cada macho seleccionado aparea con dos hembras seleccionadas, el programa lineal adquiere entonces la siguiente estructura:

$$\frac{I}{16N_m^2} \left[\sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r y_{ijk} \left(\frac{j^2}{\mu_{mm}^2} + \frac{2jk}{\mu_{mm} \mu_{mf}} + \frac{k^2}{\mu_{mf}^2} \right) \right] + \frac{I}{16N_f^2} \left[\sum_{i=1}^{N_f} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r x_{ijk} \left(\frac{j^2}{\mu_{ff}^2} + \frac{2jk}{\mu_{ff} \mu_{fm}} + \frac{k^2}{\mu_{fm}^2} \right) \right]$$

s.a.

$$\text{RESP} \quad \sum_{i=1}^{N_f} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r x_{ijk} \cdot \overline{m}_{ijk} \geq 2N_f \cdot EBV_{i-r} \quad (25)$$

$$\begin{array}{ll} \text{UNIX1} & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r x_{1jk} = I \\ \vdots \\ \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r x_{N_f jk} = I \end{array} \right. & \text{UNIY1} & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r y_{1jk} = I \\ \vdots \\ \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r y_{N_m jk} = I \end{array} \right. \\ \vdots & & \vdots & \\ \text{UNIXN}_f & & \text{UNIXN}_f & \end{array}$$

$$\text{TOTXM} \quad \sum_{i=1}^{N_f} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r x_{ijk} \cdot j = N_m \quad \text{TOTYM} \quad \sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r y_{ijk} \cdot j = N_m$$

$$\text{TOTXF} \quad \sum_{i=1}^{N_f} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r x_{ijk} \cdot k = N_f \quad \text{TOTYF} \quad \sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^r y_{ijk} \cdot k = N_f$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^t y_{ijk} \cdot j - \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^t \sum_{k=0}^t x_{ijk} \cdot j = 0 \\ \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^t y_{ijk} \cdot j - \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^t \sum_{k=0}^t x_{ijk} \cdot j = 0 \\ \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^t y_{ijk} \cdot j - \sum_{i=N_f+1}^{N_f+N_m} \sum_{j=0}^t \sum_{k=0}^t x_{ijk} \cdot j = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^t y_{ijk} \cdot k - \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^t \sum_{k=0}^t x_{ijk} \cdot k = 0 \\ \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^t y_{ijk} \cdot k - \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^t \sum_{k=0}^t x_{ijk} \cdot k = 0 \\ \sum_{j=0}^r \sum_{k=0}^t y_{ijk} \cdot k - \sum_{i=N_f+1}^{N_f+N_m} \sum_{j=0}^t \sum_{k=0}^t x_{ijk} \cdot k = 0 \end{array} \right.$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1 \quad i = 1, \dots, N_f \quad j = 0, \dots, t, \quad k = 0, \dots, t,$$

$$x_{ijk} \text{ entera} \quad i = 1, \dots, N_f \quad j = 0, \dots, t, \quad k = 0, \dots, t,$$

$$0 \leq y_{ijk} \leq 1 \quad i = 1, \dots, N_m \quad j = 0, \dots, r, \quad k = 0, \dots, r,$$

$$y_{ijk} \text{ entera} \quad i = 1, \dots, N_m \quad j = 0, \dots, r, \quad k = 0, \dots, r,$$

donde las x se refiere a las familias de hembras y las y a las de machos. $\bar{m}_{ijk}$ es la media de los EBV de las mejores k hembras y los mejores j machos (multiplicados por dos ya que los machos contribuyen el doble) de la familia de hembras i . EBV_{t+1} es el mínimo EBV medio esperado en la siguiente generación. Las restricciones llamadas UNLxx controlan que se obtenga una solución única para cada familia y las llamadas TOTxx aseguran que se selecciona un total de N_m machos y N_f hembras. Los dos últimos grupos de restricciones hacen que una familia de machos contribuya el mismo número de individuos de cada sexo que las dos familias de hembras que tiene asociadas.

BRISBANE y GIBSON (1995a, 1995b) proponen un esquema de selección que maximice la función

$$M = \frac{1}{2} \overline{EBV}_s + \frac{1}{2} \overline{EBV}_d - k(\bar{f}) \quad (26)$$

donde $\overline{EBV}_s$ y $\overline{EBV}_d$ son, respectivamente, la media de los valores estimados en un BLUP para machos y hembras selecciona-

dos, k una constante arbitraria que denota la importancia de la consanguinidad y $\bar{f}$ la media de los parentescos que será

$$\bar{f} = \frac{1}{4} \bar{f}_s + \frac{1}{2} \bar{f}_{s,d} + \frac{1}{4} \bar{f}_d \quad (27)$$

siendo $\bar{f}_s$, $\bar{f}_{s,d}$ y $\bar{f}_d$ la media de los parentescos entre machos, entre machos y hembras y entre hembras. El proceso de maximización que postula comienza con una selección por truncamiento respecto de los valores obtenidos por un BLUP sin restricciones; a partir de entonces se sigue un proceso iterativo en el que se intercambian el último de los seleccionados y el primero de los no seleccionados y se reevalúa comprobando si el resultado mejora el valor de la función M o no. No se ha podido probar que este criterio de selección optimice el proceso, además supone un esquema bastante complejo de iteraciones.

La forma ideal de abordar este problema sería a través de programación cuadrática. Pero dada la dificultad de encontrar programas que realicen programación cuadrática entera vamos a adaptar este tipo de esque-

mas a la metodología lineal que estamos abordando en este trabajo. Si ordenamos los individuos en un vector con N posicio-

nes donde los S primeros son los machos evaluados y los D siguientes son las hembras podríamos formular el problema

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \frac{d/s}{2d} \sum_{i=1}^S \hat{a}_i x_i + \frac{1}{2d} \sum_{j=S+1}^N \hat{a}_j x_j \\
 \text{s.a.} \quad & \frac{1}{4} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \frac{x_i x_j f_{ij}}{s^2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^S \sum_{j=S+1}^N \frac{x_i x_j f_{ij}}{sd} + \frac{1}{4} \sum_{i=S+1}^N \sum_{j=S+1}^N \frac{x_i x_j f_{ij}}{d^2} \leq F + \Delta F \\
 & \sum_{i=1}^S x_i = s \\
 & \sum_{i=S+1}^N x_i = d \\
 & 0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \\
 & x_i \text{ entera} \quad i = 1, \dots, N
 \end{aligned} \tag{28}$$

donde $\hat{a}_i$ es el valor estimado por un BLUP del individuo i , s el número de machos que vamos a seleccionar, d lo mismo para hembras y f_{ij} el parentesco entre los individuos i y j ; el parentesco medio viene descompuesto de la manera antes indicada de forma que si el número de machos seleccionado es diferente al número de hembras se pondera la contribución dando más importancia a los individuos del sexo del que se seleccionan menos. Restringimos que las variables de decisión x_{ij} sean cero o uno pues sólo cabe la posibilidad de que se elija o no se elija un individuo determinado. Como dentro de sexos las contribuciones de los individuos seleccionados van a ser las mismas S y D deben ser múltiplos tanto de s como de d . En el caso extremo de que cada uno contribuya con dos hijos a la siguiente generación realmente no haría-

mos selección pues todos los individuos tendrían que utilizarse.

Hay que hacer notar que si el único parentesco que considerásemos fuera el que existe dentro de familias este método sería equivalente al propuesto por TORO y PÉREZ-ENCISO (1990).

Tal y como lo hemos formulado, este problema entraría en la programación no lineal ya que en la restricción que controla el incremento de la consanguinidad aparece un producto de variables. Pero como los posibles valores de ambas son sólo cero o uno lo mismo ocurrirá con el producto. Si sustituimos el producto por una variable auxiliar z_{ij} (uno si ambos individuos van a ser elegidos cero en el resto de casos) y añadimos las siguientes restricciones el problema tiene una nueva formulación

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{4} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \frac{z_{ij} f_{ij}}{s^2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^S \sum_{j=S+1}^N \frac{z_{ij} f_{ij}}{sd} + \frac{1}{4} \sum_{i=S+1}^N \sum_{j=S+1}^N \frac{z_{ij} f_{ij}}{d^2} \leq F + \Delta F \\
& \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{ij} = (s + d)^2 \\
& \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N z_{i1} - (s + d)x_1 = 0 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N z_{iN} - (s + d)x_N = 0 \end{array} \right. \quad (29) \\
& \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^N z_{1j} - (s + d)x_1 = 0 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^N z_{Nj} - (s + d)x_N = 0 \end{array} \right. \\
& 0 \leq z_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, N \\
& z_{ij} \text{ entera} \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, N
\end{aligned}$$

Las restricciones dentro de la llave indican que de un individuo tendremos en cuenta su parentesco con $(s + d)$ individuos de la población si es elegido y con ninguno si no lo es.

Ahora ya tenemos todo en forma lineal y puede ser resuelto como en casos anterior-

res. Pero si el número de candidatos es elevado la cantidad de variables podría hacer poco manejable el modelo. Aprovechando que la matriz de variables z es simétrica podemos prescindir de las que estén por debajo de la diagonal principal y expresar el modelo como

$$\begin{aligned}
& \max \quad \frac{d/s}{2d} \sum_{i=1}^S \hat{a}_i x_i + \frac{1}{2d} \sum_{j=S+1}^N \hat{a}_j x_j \\
& \text{s.a.} \quad \frac{1}{4s^2} \sum_{i=1}^S \left(z_{ii} f_{ii} + 2 \sum_{j=i+1}^S z_{ij} f_{ij} \right) + \frac{1}{2sd} \sum_{i=1}^S \sum_{j=S+1}^N z_{ij} f_{ij} + \frac{1}{4d^2} \sum_{i=S+1}^N \left(z_{ii} f_{ii} + 2 \sum_{j=i+1}^N z_{ij} f_{ij} \right) \leq F + \Delta F \\
& \sum_{i=1}^S x_i = s \\
& \sum_{i=S+1}^N x_i = d
\end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^N \left(z_{ii} + 2 \sum_{j=1+j}^N z_{ij} \right) &= (s+d)^2 \\
 \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^I z_{ii} + \sum_{i=2}^N z_{1i} - (s+d)x_1 = 0 \\ \sum_{i=1}^2 z_{i2} + \sum_{i=3}^N z_{2i} - (s+d)x_2 = 0 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N z_{iN} - (s+d)x_N = 0 \end{array} \right. & \quad (30) \\
 0 \leq z_{ij} \leq 1 \quad i=1, \dots, N \quad j=i, \dots, N \\
 z_{ij} \text{ entera} \quad i=1, \dots, N \quad j=i, \dots, N \\
 0 \leq x_i \leq 1 \quad i=1, \dots, N \\
 x_i \text{ entera} \quad i=1, \dots, N
 \end{aligned}$$

En programas de conservación, como ya se ha señalado, el factor limitante es la consanguinidad y puede ser más práctico seleccionar los reproductores atendiendo únicamente a este criterio. De esta manera la restricción sobre los parentescos pasaría a ser la función objetivo que tendríamos que minimizar y las restricciones que consideraríamos serían las referentes a garantizar la elección del número de machos y hembras determinado. LACY (1995) propone un esquema similar al último expuesto pero con generaciones solapadas. En el mismo los parentescos se calculan entre todos los individuos vivos que en ese momento estén en la población ponderando cada uno por el valor reproductivo de su grupo de edad de manera que un individuo joven (que va a tener oportunidades en otras temporadas de cría) tenga menos probabilidad de aparear que uno adulto; esta ponderación es más importante en especies con un intervalo generacional corto. Cada vez que se elige un hijo de una pareja la matriz de parentescos

se vuelve a recalcular con respecto a los individuos de la siguiente generación (BALLOU y LACY, 1995). El programa Genes creado por el mismo autor realiza todos los cálculos relacionados con esta estrategia de selección.

* Selección ponderada

En los programas de mejora se suele considerar que todos los individuos seleccionados contribuyen el mismo número de descendientes a la población que van a ser candidatos en la siguiente generación; pero si escogemos un número mayor de padres permitiendo una contribución diferencial de cada uno se puede conseguir mantener la intensidad de selección pero con un censo efectivo mayor (y por tanto menor aumento de la consanguinidad). Con esta idea TORO y NIETO (1984) propusieron un método de selección ponderada en el que, al ser el censo efectivo inversamente proporcional a la suma de los cuadrados de las contribu-

ciones de cada individuo, el objetivo será minimizar esa suma de cuadrados imponiendo la restricción de mantener la intensidad de selección.

De esta manera lo que tendríamos es un problema de programación cuadrática (no lineal); pero si lo planteamos de una forma alternativa este inconveniente se puede obviar. Establecemos un número máximo de hijos por individuo (r) y creamos una matriz en la que en las filas aparecen los números naturales desde cero a r y en las columnas los individuos evaluados ($N = S + D$ que son respectivamente los machos y a continuación las hembras que consideramos). Cada casilla será una variable de decisión x_{ij} que tomará el valor uno si el individuo j contribuye un número de hijos a los individuos candidatos de la siguiente generación que es igual al encabezamiento de la fila i o cero si su contribución es diferente. El programa lineal asociado, cuando $S = D = N/2$, sería por tanto

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^N i^2 x_{ij} \\
 \text{s.a.} \quad & \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^N \frac{\hat{a}_j x_{ij} i}{2N} \geq M_i + \Delta M \\
 & \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^N i x_{ij} = 2N \\
 & \begin{cases} \sum_{i=0}^r x_{i1} = 1 \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^r x_{iN} = 1 \end{cases} \quad (31) \\
 & \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^S i x_{ij} - \sum_{i=0}^r \sum_{j=S+1}^N i x_{ij} = 0 \\
 & 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad i = 0, \dots, r \quad j = 1, \dots, N \\
 & x_{ij} \text{ entera} \quad i = 0, \dots, r \quad j = 1, \dots, N
 \end{aligned}$$

siendo $\hat{a}_j$ el valor estimado del individuo j . El control de la intensidad de selección se ejerce a través del incremento en el valor medio (ΔM) que esperamos obtener en la siguiente generación. Se exige que la suma de todas las variables sea $2N$ para que se mantenga el tamaño poblacional ya que cada nuevo individuo es hijo de dos de la generación anterior, que la suma de las contribuciones de los machos sea igual a la de las hembras y que las variables de decisión tomen valores enteros cero o uno. Como el número de machos y hembras candidatos en la siguiente generación es el mismo sólo calculamos el número de descendientes sin hacer consideraciones sobre su sexo.

La selección ponderada puede ser también útil cuando los apareamientos a realizar ya se han decidido, por ejemplo para que sean de mínimo parentesco (TORO *et al.*, 1988), y se quiere buscar la contribución óptima de cada uno de ellos. En este caso cada columna equivaldría a uno de los apareamientos escogidos, cada fila a la contribución de un apareamiento (desde cero a r), la suma de todas las variables de decisión igualaría ahora N (consideramos parejas) y desaparecería la restricción para la igualdad de contribuciones entre sexos.

WRAY y GODDARD (1994), insistiendo en la contribución diferencial de los individuos, proponen abordar la cuestión planteando objetivos de mejora a un plazo determinado que incluyan un término (negativo) dependiente de la consanguinidad que se acumula. El esquema es similar al que presenta MEUWISSEN (1997); éste último postula la optimización de la elección de reproductores mediante la maximización de la expresión

$$\begin{aligned}
 H_i = & c_i' EB V_i - \lambda_0 (c_i' A_i c_i - \\
 & - 2 \bar{C}_{i,i}) - (c_i' Q - (1/2)') \lambda
 \end{aligned} \quad (32)$$

que tiene en cuenta los méritos de cada individuo con restricciones para la consanguinidad producida; en dicha expresión c_i es el vector de las contribuciones de cada individuo, EBV_i el vector de los valores mejorantes estimados de una evaluación BLUP, A_i la matriz de relaciones aditivas, Q una matriz de dos columnas con cero o uno indicando el sexo de cada individuo, $1/2$ un vector que indica que la contribución genética de los machos es la mitad del total (igual para las hembras) y por tanto se cumple

$$Q' c_i = 1/2 \quad (33)$$

$\bar{c}_{i+1}$ es la máxima consanguinidad que permitimos en la próxima generación tal que

$$\bar{c}_{i+1} = \frac{c_i' A_i c_i}{2} \quad (34)$$

y λ_0 y λ son, respectivamente, un multiplicador de LaGrange y un vector de dos multiplicadores de LaGrange. El máximo se alcanzará para el vector de contribuciones solución de igualar a cero la derivada de la expresión; sustituyendo la ecuación resultante en las restricciones obtenemos expresiones para calcular λ_0 y λ independientes del vector de contribuciones (desarrollo completo en MEUWISSEN, 1997). Así los factores de ponderación λ se calculan automáticamente aunque siguen dependiendo del valor de consanguinidad máximo permitido que es un dato empírico. El proceso puede realizarse por ordenador mediante el programa GENCONT creado por Meuwissen.

El inconveniente que tiene este método es el de que el vector de contribuciones contendrá valores reales que obligará a un proceso de redondeo en el que se puede perder precisión. También pueden aparecer

contribuciones negativas que harán necesarias reevaluaciones sucesivas eliminando en cada una los individuos afectados (uno a uno).

Si consideramos un vector con las contribuciones de los individuos de un sexo en primer lugar (por ejemplo machos) y los del otro a continuación ($S = D = N/2$) el problema se reduciría a maximizar la siguiente función objetivo

$$\max \sum_{i=1}^N x_i \cdot EBV_i$$

sujeta a

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{f_{ij} x_i x_j}{(2N)^2} \leq F_i + \Delta F \quad (35)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 2N$$

$$\sum_{i=1}^S x_i - \sum_{i=S+1}^N x_i = 0$$

$$0 \leq x_i \quad i = 1, \dots, N$$

$$x_i \text{ entera} \quad i = 1, \dots, N$$

donde x_i es la contribución, en número de hijos, del individuo i a la siguiente generación, lo mismo para x_j , EBV_i es el valor del individuo según la evaluación BLUP y f_{ij} el parentesco entre dos individuos de la presente generación. Aparece pues un término no lineal producto de las contribuciones. Aunque teóricamente las contribuciones podrían ser todo lo grande que quisiésemos en la práctica, por limitaciones de potencial reproductivo u otros motivos, las variables de decisión tendrán un límite superior que usualmente será mayor en machos que en hembras.

Podríamos realizar una transformación sobre el esquema anterior para obtener un

programa lineal. Construimos una matriz en la que las columnas son todas las posibles parejas de individuos candidatos (N^2 columnas pues consideramos el producto del individuo i con el j como diferente del formado por el individuo j con el i) y las filas los posibles resultados diferentes del producto de las contribuciones de dos individuos (C); si r es el número máximo de

contribuciones por individuo el número máximo de filas será

$$C = 1 + CR_r^2 \quad (36)$$

donde el uno aparece por todas las combinaciones en las que uno de los individuos tiene contribución nula y el otro término son las combinaciones con repetición de r posibles contribuciones tomadas de dos en dos.

	1 1	1 2	...	1 (S+D)	...	(S+D) 1	...	(S+D) (S+D)
0			...		...		...	
1			...		...		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
r^2			...		...		...	

Las variables de decisión asociadas a cada una de las casillas de la matriz anterior valdrán uno cuando el producto de contribuciones de los individuos de esa columna sea igual al encabezamiento de la fila y cero cuando el producto sea otra cifra. El problema se formularía entonces como

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{N^2} EB V_j x_{ij} c_i \\
 \text{s.a.} \quad & \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{N^2} \frac{f_{ij} x_{ij} c_i}{(2N)^2} \leq F_r + \Delta F \\
 & \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{N^2} x_{ij} c_i = (2N)^2 \\
 & \sum_{i=1}^C \left(\sum_{j=1}^{S \cdot N} c_i x_{ij} - \sum_{j=S \cdot N+1}^{N^2} c_i x_{ij} \right) = 0
 \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned}
 & \begin{cases} \sum_{i=1}^C x_{i1} = 1 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^C x_{iN^2} = 1 \end{cases} \\
 & \begin{cases} \sum_{i=1}^C \left(\sum_{j=1}^{N-1} c_i x_{i\alpha(1)_j} - \sum_{j=1}^{N-1} c_i x_{i\beta(1)_j} \right) = 0 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^C \left(\sum_{j=1}^{N-1} c_i x_{i\alpha(N)_j} - \sum_{j=1}^{N-1} c_i x_{i\beta(N)_j} \right) = 0 \end{cases} \\
 & 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad i = 0, \dots, r \quad j = 1, \dots, N \\
 & x_{ij} \text{ entera} \quad i = 0, \dots, r \quad j = 1, \dots, N
 \end{aligned} \quad (37)$$

donde las restricciones de la primera llave aseguran que cada combinación sólo tiene un producto de contribuciones y las segun-

das que las combinaciones en las que un individuo k aparece en primera posición, $\alpha(k)$, contribuyen lo mismo que cuando lo

hace en segunda, $\beta(k)$. Para ilustrarlo supongamos el caso de dos machos y dos hembras

	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43	44
0																
1																
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
r ²																

Las contribuciones cuando consideramos el individuo 1 en primera posición (columnas sombreadas más claras) deben ser las mismas que cuando lo consideramos en la segunda posición (sombreado más oscuro), y lo mismo para el resto de individuos.

Las demás restricciones se refieren al total de productos de contribuciones y a que se repartan equitativamente las mismas entre sexos. Una vez obtenida la solución del programa la contribución de cada individuo se calcularía como la raíz cuadrada del encabezamiento de la fila para la que la variable de decisión de la columna combinación del individuo consigo mismo sea uno.

El caso simplificado en el que cada individuo seleccionado contribuye el mismo número de hijos corresponde al esquema propuesto por BRISBANE y GIBSON y esquematizado en (28 - 30).

Cualquiera que sea el método elegido (derivación o programación lineal) al final tenemos un número de machos y hembras con unos porcentajes (o número de hijos) de contribución a la descendencia. El apareamiento se realizaría al azar con probabilidades de usar un individuo iguales a su contribución o repitiendo cada individuo

tantas veces como descendientes debe tener y tomando aleatoriamente éstos hasta que se acaben. El planteamiento es adecuado si el carácter tiene un comportamiento aditivo (hemos supuesto que el mérito de los hijos es la media del mérito de los padres) pero da respuestas subóptimas si, como se explicó con anterioridad, hay efectos no aditivos.

* Apareamiento corrector

Un caso intermedio sería lo que se conoce como apareamiento corrector (ALLAIRE, 1977). En este esquema los progenitores de un sexo (por ejemplo las hembras) se eligen siguiendo un criterio tradicional (evaluación BLUP o combinada con la contribución diferencial) y luego se decide el macho que produce la mejor descendencia con cada hembra. Implementando la programación lineal en el segundo paso se puede encontrar el conjunto de machos que proporcione la mejor respuesta para las hembras escogidas.

Conclusiones

Una vez asumido que las técnicas de programación lineal son una herramienta

muy útil para optimizar cualquier programa de selección, de apareamientos o de ambos conjuntamente sólo cuestiones prácticas justifican que su empleo no esté todo lo extendido que debiera.

En este trabajo se ha demostrado como muchas de las situaciones de interés para el mejorador pueden ser resueltas mediante algoritmos simples perfectamente abordables con un material informático mínimo. Esto es así al menos para los casos de diseño de los apareamientos y en algunos de los de elección conjunta de reproductores y esquema de apareamiento.

Cuando haya que recurrir a métodos más complejos (del tipo *branch and bound*) puede que la mejora que de ello se derive en nuestro programa de selección compense el esfuerzo económico de solicitar la evaluación a un centro que disponga de estaciones de trabajo adecuadas. Si la memoria de nuestro ordenador no es el factor limitante (porque el número de animales no es excesivo) sólo tendremos el problema del tiempo de ejecución del programa. Esto puede no ser importante si el esquema implicado no precisa muchas evaluaciones por generación (el apareamiento de todos los individuos se hace a la vez, no se eliminan reproductores con mucha frecuencia) y el intervalo generacional es relativamente grande.

Sería recomendable, pues, la implantación de métodos de programación lineal para mejorar la eficiencia de un esquema de selección o conservación, aunque el beneficio obtenido dependerá de la heredabilidad del carácter objeto de selección (mejor si es baja), del tamaño de la población sobre la que se actúe (de tamaño no muy grande) y de la importancia económica relativa del aumento de consanguinidad.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a C. Romero por su asesoramiento y a IBM España por facilitar recursos informáticos. Este trabajo fue financiado por una beca del Programa Sectorial de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario del MAPA.

Apéndice

En la actualidad existen muchos programas o paquetes comerciales, tanto para ordenador personal como para estación de trabajo, que permiten la resolución de problemas de programación lineal entera.

LINDO e HIPERLINDO, comercializados por Lindo System, Inc. Chicago, están disponibles para distintas plataformas; en las versiones para ordenadores personales aceptan problemas de hasta 200 y 2000 variables respectivamente. De la misma compañía es el programa GINO que resuelve programas lineales y no lineales pero con variables continuas.

IBM tiene disponible un paquete de rutinas (el idóneo desde el punto de vista de los autores) bajo el nombre genérico de OSL (Optimization Subroutine Library) que dan una gran flexibilidad en la definición y resolución de programas lineales y enteros y además permiten su inclusión en aplicaciones propias como pueden ser simulaciones. También puede resolver programación cuadrática entera pero con restricciones lineales. Es compatible con los lenguajes C, FORTRAN, PL/I y APL2 y existen versiones para ordenadores personales (bajo diferentes sistemas operativos) y para las estaciones de trabajo más corrientes.

Numerical Algorithms Group Ltd., Oxford (NAG) ha desarrollado un conjunto de rutinas en FORTRAN 77 y FORTRAN 90 que resuelven todo tipo de programas lineales y enteros; se comercializan conjuntamente con un paquete de más de 1000 algoritmos numéricos.

También puede recurrirse a las rutinas en FORTRAN creadas por A. H. Land y S. Powell (LAND y POWELL, 1973) o las que incluye J. L. de la Fuente en su libro (DE LA FUENTE, 1993).

Una relación más exhaustiva de programas y rutinas de libre uso y comerciales que resuelven programas lineales y enteros puede encontrarse en la página web

<http://www.mcs.anl.gov/home/otc/Guide/faq/linear-programming-faq.html>

En el caso de los problemas de asignación no se ha encontrado un programa que específicamente resolviera esta cuestión por lo que se ha programado una pequeña rutina en FORTRAN que está disponible contactando con el primer autor.

En forma de subrutina la llamada se realiza mediante

CALL HUNGARO
(*asi*, *isi*, *nfil*, *max*, *ncer*, *ifm*, *icm*, *ale*)

donde *asi* es la matriz de asignación propiamente dicha; debe tener ya añadidas las columnas o filas accesorias (si las necesita) y venir premultiplicada por -1 si lo que buscamos es la maximización. La subrutina se encarga de hacer que todos los elementos sean no negativos.

Nfil es el número de filas (columnas) de la matriz tal y como entra en la subrutina. *Max* debe tener un valor mayor o igual que cualquiera de los de las casillas de la matriz (incluso de las que pertenecen a individuos ficticios) y se utiliza para inicializar la búsqueda

del menor elemento en una parte del programa. *Ncer*, *ifm* y *icm* son vectores auxiliares, de dimensión *nfil*, que registran el número de ceros por fila y la situación de cada fila o columna respectivamente. *Ale* es una matriz de números aleatorios (dimensionada desde cero hasta el número de filas) que sirve, en uno de los pasos del proceso, para elegir la fila que se marca cuando varias filas tienen el mismo número de ceros sin tachar.

Los resultados en la salida se obtienen de la matriz *isi*, con las mismas dimensiones que la matriz de asignación, donde los elementos elegidos tendrán el valor 1 y el resto 0 ó -1.

Si la matriz de entrada fuera

$$asi \begin{pmatrix} 4 & 8 & 12 & 3 \\ 9 & 1 & 6 & 4 \\ 14 & 3 & 6 & 8 \\ 6 & 5 & 7 & 9 \end{pmatrix}$$

la subrutina nos devolvería las matrices

$$asi \begin{pmatrix} 0 & 6 & 7 & 0 \\ 6 & 0 & 2 & 2 \\ 9 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \end{pmatrix} \quad isi \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

con lo que los apareamientos elegidos son (1, 4), (2, 2), (3, 3) y (4, 1) que minimizan el conjunto; si alguna de las filas/columnas perteneciese a un individuo ficticio sus combinaciones serían descartadas.

El programa GENES y otros relacionados, desarrollados por R. C. LACY, pueden obtenerse de Internet en la dirección

<http://pw1.netcom.com/~lacy/index.html>

El programa GENCONT está disponible comercialmente para su uso por empresas aunque hay posibilidad de obtener una copia gratis, contactando con su autor, si su uso va a ser sólo para la investigación.

Bibliografía

- ALLAIRE F.R., 1977. Corrective mating methods in context of breeding theory. *J. Dairy Sci.* 60: 1799.
- ALLAIRE F.R., 1980. Mate selection by selection index theory. *Theor. Appl. Genet.* 57: 267-272.
- ALLAIRE F.R., 1993. Intra-breed mating pair selection methods for improvement of nonlinear merit from additive genetic inheritance: a review. *J. Dairy Sci.* 76: 117-92.
- BALLOU J.D., LACY R.C., 1995. Identifying genetically important individuals for management of genetic diversity in pedigreed populations. Pag. 76-111 in J. D. Ballou, M. Gilpin, and T. J. Foose (eds.). *Population Management for Survival & Recovery. Analytical Methods and Strategies in Small Population Conservation.* Columbia University Press, New York.
- BRISBANE J.R., GIBSON J.P., 1995a. Balancing selection response and inbreeding by including predicted stabilised genetic contributions in selection decisions. *Genet. Sel. Evol.* 27: 541-549.
- BRISBANE J.R., GIBSON J.P., 1995b. Balancing selection response and rate of inbreeding by including genetic relationships in selection decisions. *Theor. Appl. Genet.* 91: 421-431.
- CABALLERO A., SANTIAGO E., TORO, M.A., 1996. Systems of mating to reduce inbreeding in selected populations. *Animal Science* 62: 431-442.
- DANTZIG G.B., 1963. *Linear programming and extensions.* Princeton University Press. Princeton.
- DE LA FUENTE J.L., 1993. *Tecnologías computacionales para sistemas de ecuaciones, optimización lineal y entera.* Editorial Reverté, S. A. Barcelona.
- FUERST C., HOESCHLE J., SÖLKNER J., ESSL A., 1997. Selection for specific combining ability in small simulated populations. *Proc. 48th Annual Meeting of the EAAP, Vienna*, p. 21.
- FUERST C., JAMES J.W., SÖLKNER J., ESSL A., 1997. Impact of dominance and epistasis on the genetic make-up of simulated populations under selection: a model development. *J. Anim. Breed. Genet.* 114: 163-175.
- GRUNDY B., CABALLERO A., SANTIAGO E., HILL W.G., 1994. A note on using biased parameter values and non-random mating to reduce rates of inbreeding in selection programmes. *Anim. Prod.* 59: 465-468.
- GRUNDY B., LUO Z.W., VILLANUEVA B., VOOLIAN J.A., 1997. The use of mendelian indices to reduce the rate of inbreeding in selection programmes. *J. Anim. Breed. Genet.* 115: 39-51.
- HILL W.G., 1979. A note on effective population size with overlapping generations. *Genetics* 92: 317-391.
- JANSEN G.B., WILTON J.W., 1984. Linear programming in selection of livestock. *J. Dairy Sci.* 67: 897-901.
- JANSEN G.B., WILTON J.W., 1985. Selecting mating pairs with linear programming techniques. *J. Dairy Sci.* 68: 1302-1305.
- KINGHORN B., 1987. On computing strategies for mate allocation. *J. Anim. Breed. Genet.* 104: 12-22.
- KLIEVE H.M., KINGHORN B., BARWICK S.A., 1994. The joint regulation of genetic gain and inbreeding under mate selection. *J. Anim. Breed. Genet.* 111: 81-88.
- LACY R.C., 1995. Clarification of genetic terms and their use in the management of captive populations. *Zoo Biology* 14: 565-578.
- LAND A.H., POWELL S., 1973. *FORTRAN codes for mathematical programming: linear, quadratic and discrete.* John Wiley & Sons. London.
- MEUWISSEN T.H.E., 1997. Maximizing the response of selection with a predefined rate of inbreeding. *J. Anim. Sci.* 75: 934-940.
- NOMURA T., YOMEZAWA K., 1994. The merits of mate selection with a limited maximum inbreeding coefficient for progeny animals. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)* 65(7): 647-651.
- RÍOS S., 1988. *Investigación operativa. Optimización.* Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. Madrid.
- RODRIGÁNEZ J., SILIÓ L., TORO M.A., RODRIGUEZ M.C., 1994. Conservation programmes of two

- strains of Iberian pigs. Proc. of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Vol. 21: 524-527.
- ROMERO C., 1993. Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Alianza Editorial, S. A. Madrid.
- SANTIAGO E., CABALLERO A., 1995. Effective size of populations under selection. *Genetics* 139: 1013-1030.
- SCHENEEBERGER M., FREEMAN A.E., BOEHLJE M.D., 1981. Estimation of a utility function from semen purchases from Holstein sires. *J. Dairy Sci.* 64: 1713.
- SMITH C., ALLAIRE F.R., 1985. Efficient selection rules to increase non-linear merit: application in mate selection. *Genet. Sel. Evol.* 17: 387-406.
- TORO M.A., 1993. A new method aimed at using the dominance variance in closed breeding populations. *Genet. Sel. Evol.* 25: 63-74.
- TORO M.A., NIETO B., 1984. A simple method for increasing the response to artificial selection. *Genet. Res. Camb.* 44: 347-349.
- TORO M.A., NIETO B., SALGADO C., 1988. A note on minimization of inbreeding in small-scale selection programmes. *Livestock Production Science* 20: 317-323.
- TORO M.A., PÉREZ-ENCISO M., 1990. Optimization of selection response under restricted inbreeding. *Genet. Sel. Evol.* 22: 93-107.
- TORO M.A., SILLÓ L., 1992. An alternative to restricted BLUP based on mate selection. *Livestock Production Science* 32: 181-187.
- TORO M.A., SILLÓ L., PÉREZ-ENCISO M., 1991. A note on the use of mate selection in closed MOET breeding schemes. *Anim. Prod.* 53: 403-406.
- WRAY N.R., GODDARD M.E., 1994. Increasing long-term response to selection. *Genet. Sel. Evol.* 26: 431-451.
- WRIGHT S., 1921. System of mating. *Genetics* 6: 111-178.

(Aceptado para publicación el 23 de junio de 1998)



CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS
INSTITUTO AGRONÓMICO MEDITERRÁNEO DE ZARAGOZA

CIHEAM/IAMZ - Cursos 1997-98-99

CIHEAM

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
PRODUCCIÓN VEGETAL	TÉCNICAS DE MARCADORES MOLECULARES PARA LA EVALUACIÓN DE GERMOPLASMA Y LA MEJORA DE CULTIVOS	14-25 Sep. 97	Aleppo	ICARDA/IAMZ
	BIOLOGÍA Y CONTROL DE MALAS HIERBAS EN CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	15-26 Sep. 97	Zaragoza	IAMZ/EWRS
	*OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA	1 Oct. 97/Mayo 98	Córdoba	UCO/ICA-JA/CSIC/INIA/COI/IAMZ
	MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE CULTIVARES	3-14 Nov. 97	Zaragoza	IAMZ/CIMMYT/ICARDA
	AGRICULTURA SOSTENIBLE: GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE ZONAS SEMIÁRIDAS	9-20 Mar. 98	Zaragoza	IAMZ/ICARDA
	DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE ENFERMEDADES DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS Y DE GRANO ADAPTADAS A CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	20-30 Abr. 98	Córdoba	IAMZ/CSIC-IAS/CLIMA/ICARDA
	PRODUCCIÓN Y ECONOMÍA DE FRUTOS SECOS	18-29 Mayo 98	Adana	IAMZ/Univ. Çukurova/FAO
	*CURSO SUPERIOR DE MEJORA GENÉTICA VEGETAL	5 Oct. 98/11 Jun. 99	Zaragoza	IAMZ
	*CURSO SUPERIOR DE PRODUCCIÓN ANIMAL	29 Sep. 97/12 Jun. 98	Zaragoza	IAMZ
	*ACUICULTURA	6 Oct. 97/27 Mar. 98	Las Palmas de Gran Canaria	ULPGC/ICCM/IAMZ
PRODUCCIÓN ANIMAL	ACUICULTURA MEDITERRÁNEA: CULTIVO EN MAR ABIERTO	20-24 Oct. 97	Zaragoza	IAMZ
	PRODUCCIÓN CAPRINA	2-13 Feb. 98	Murcia	IAMZ/CMAAA-RM
	ACUICULTURA MEDITERRÁNEA: NUEVAS TÉCNICAS PARA CRIADEROS MARINOS	23 Feb./6 Mar. 98	Mazarrón	IAMZ/IEO/FAO
	PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS EN EXPERIMENTOS DE PRODUCCIÓN ANIMAL: HACIA UNA MEJOR COMPRENSIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS MODERNOS	25-29 Mayo 98	Zaragoza	IAMZ/ICARDA
	CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE EN RUMIANTES	19-30 Oct. 98	Zaragoza	IAMZ
	PASTORALISMO Y DESARROLLO	2-13 Nov. 98	Rabat	IAMM/IAMZ/IAV/ENA
	PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE CAMPAÑAS DE SANEAMIENTO GANADERO	8-12 Feb. 99	Zaragoza	IAMZ
	UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS MOLECULARES EN MEJORA GENÉTICA ANIMAL	15-26 Mar. 99	León	IAMZ/Univ. León
	APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA NIRS EN LA EVALUACIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS	12-16 Abr. 99	Zaragoza	IAMZ
	NUEVAS ESPECIES PARA LA ACUICULTURA MEDITERRÁNEA	24-28 Mayo 99	Zaragoza	IAMZ/FAO

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
MEDIO AMBIENTE	GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	24 Nov./5 Dic. 97	Zaragoza	IAMZ
	ASIGNACIÓN DE USOS Y PRECIOS DEL AGUA. CRITERIOS DE DECISIÓN	12-23 Ene. 98	Zaragoza	IAMZ
	NUEVOS ENFOQUES EN EL ANÁLISIS DE SISTEMAS PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS REGIONALES DE USOS DEL SUELO	16-27 Feb. 98	Zaragoza	IAMZ/WAU
	DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES	4-15 Mayo 98	Zaragoza	IAMZ/MIMAM/FAO
	RIOS Y RIBERAS DE RÉGIMEN MEDITERRÁNEO Y SU GESTIÓN	21 Sep./2 Oct. 98	Zaragoza	IAMZ
	*CURSO SUPERIOR DE ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	5 Oct. 98/11 Jun. 99	Zaragoza	IAMZ
	ARBUSTOS FORRAJEROS IMPLANTACIÓN Y MANEJO PARA CONSERVACIÓN DE SUELOS Y USO FORRAJERO	28 Sep./9 Oct. 98	Rabat	IAMZ/IAV/INRAM/ICARDA
	ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES	15-26 Mar. 99	Zaragoza	IAMZ
	*CURSO SUPERIOR DE COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS Y ALIMENTARIOS	29 Sep. 97/12 Jun. 98	Zaragoza	IAMZ
	GESTIÓN DE LA CALIDAD. NUEVOS CONCEPTOS Y SU APLICACIÓN EN EL MARKETING AGROALIMENTARIO	9-20 Nov. 98	Zaragoza	IAMZ
COMERCIALIZACIÓN	COMERCIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA	14-18 Dic. 98	Zaragoza	IAMZ
	EL NUEVO MARCO DE LA DISTRIBUCIÓN COMERCIAL. MECANISMOS DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR AGROALIMENTARIO	11-22 Ene. 99	Zaragoza	IAMZ
	LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO Y SU IMPACTO EN EL MARKETING INTERNACIONAL AGROALIMENTARIO	22-26 Feb. 99	Zaragoza	IAMZ/OMC
	DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO	26 Abr./7 Mayo 99	Zaragoza	IAMZ

(*) Los cursos de larga duración se desarrollan cada dos años en las áreas de:

- MEDIO AMBIENTE: 98-99/00-01
- PRODUCCIÓN VEGETAL.
 - MEJORA GÉNÉTICA VEGETAL. 98-99/00-01
 - OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA: 97-98/99-00
- PRODUCCIÓN ANIMAL.
 - PRODUCCIÓN ANIMAL: 97-98/99-00
 - ACUICULTURA: 97-98/99-00
- COMERCIALIZACIÓN: 97-98/99-00

Los cursos de larga duración se destinan primordialmente a titulados superiores en vías de especialización postuniversitaria. No obstante, se estructuran en ciclos independientes para facilitar la asistencia de profesionales interesados en aspectos parciales del programa. El plazo de inscripción para los cursos de larga duración de Ordenación Rural en Función del Medio Ambiente y Mejora Genética Vegetal finalizará el 15 de Mayo de 1998. El plazo de inscripción para los cursos de larga duración de Olivicultura y Elaiotecnica y Acuicultura finaliza el 1 de Mayo de 1999. El plazo de inscripción para los cursos de larga duración de Producción Animal y Comercialización de Productos Agrarios y Alimentarios finaliza el 15 de mayo de 1999.

Los cursos de corta duración están orientados preferentemente a investigadores y profesionales relacionados en el desarrollo de sus funciones con la temática de los distintos cursos. El plazo de inscripción para los cursos de corta duración finaliza 90 días antes de la fecha de inicio del curso.

Los candidatos de países miembros del CIHEAM (Albania, Argelia, Egipto, España, Francia, Grecia, Italia, Líbano, Malta, Marruecos, Portugal, Túnez y Turquía) podrán solicitar becas que cubran los derechos de inscripción, así como becas que cubran los gastos de viaje y de estancia durante el curso. Los candidatos de otros países interesados en disponer de financiación deberán solicitarla directamente a otras instituciones nacionales o internacionales.

En la página Web se proporciona información sobre los cursos programados y se facilita el formulario de inscripción: <http://www.iamz.ciheam.org>

Para mayor información dirigirse a: Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza

Apartado 202 - 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA)

Teléfono 976 57 60 13 - Fax 976 57 63 77

e-mail: iamz@iamz.ciheam.org - Web <http://www.iamz.ciheam.org>

POBLACIÓN:

INFORMACIÓN PARA AUTORES

Tipo de artículos que pueden ser enviados para su consideración al Comité de Redacción: se admite todo aquel que contribuya al intercambio de información profesional y trate de los más recientes avances que existan en las distintas actividades agrarias.

Una *información para autores* más detallada puede ser solicitada al Comité de Redacción. Rogamos sea leída detenidamente, prestando atención especial a los siguientes puntos:

CONDICIONES GENERALES

Los artículos, en castellano, serán enviados por triplicado a:
Sr. Director de la Revista ITEA - Apartado 727 - 50080 ZARAGOZA

RECOMENDACIONES EN LA PREPARACIÓN DE LOS ORIGINALES

La extensión máxima será de 25 folios de texto mecanografiado a doble espacio, cuadros y figuras incluidos. Los artículos que superen dicha extensión serán considerados sólo excepcionalmente.

Los artículos se remitirán a dos evaluadores anónimos expertos en el tema y el autor recibirá un informe del Comité de Redacción con las correcciones de dichos evaluadores. Una vez realizadas las correcciones el autor enviará un sólo ejemplar mecanografiado y una copia en disquete, para agilizar el trabajo en imprenta. Si el Comité de Redacción considera que se han atendido las consideraciones del informe, enviará una carta de aceptación al remitente, y el artículo pasará de inmediato a imprenta.

Los autores recibirán un juego de las primeras pruebas de impresión que deberán ser revisadas y devueltas rápidamente a la Redacción. El retraso en el retorno de las pruebas determinará que el artículo sea publicado con las correcciones del Comité de Redacción.

El título no incluirá abreviaturas y será corto y preciso. En la misma página se incluirán los nombres completos de los autores, así como la dirección postal y nombre de la Entidad en donde se haya realizado el trabajo.

Se incluirá en primer lugar un resumen corto de 200-250 palabras y hasta seis palabras clave. Además, se añadirá un resumen en *inglés* de la misma extensión, sin olvidar el *título* traducido y las palabras clave (Keywords).

A continuación del resumen vendrá el artículo completo, procurando mantener una disposición lógica, considerando cuidadosamente la jerarquía de títulos, subtítulos y apartados.

Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías deben titularse todos *figuras*. Los *cuadros* y *figuras* deben llevar numeración diferente, pero ambos en cifras árabes.

Los pies o títulos de cuadros y figuras deben redactarse de modo que el sentido de éstos pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los títulos, pies y leyendas de los cuadros y figuras se traducirán al *inglés* y se incluirán en letra cursiva, bajo el correspondiente en español.

Los dibujos, gráficos, mapas, fotografías y diapositivas serán presentados en la mejor calidad posible.

En general se evitará el uso de abreviaturas poco conocidas, que en todo caso serán debidamente explicadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el *texto* las referencias deben hacerse mediante el apellido de los autores en mayúsculas seguido del año de publicación, todo entre paréntesis.

Al *final del trabajo*, y precedida de la mención *Referencias Bibliográficas*, se hará constar una lista alfabética de todas (y únicamente) las referencias utilizadas en el texto. En el caso de incluir varios trabajos del mismo autor se ordenarán cronológicamente.

Cuando se citen revistas⁽¹⁾, libros⁽²⁾, capítulos de libro⁽³⁾ y comunicaciones a congresos⁽⁴⁾ se hará según los siguientes ejemplos:

- (1) HERRERO J., TABUENCA M.C., 1966. Épocas de floración de variedades de hueso y pepita. An. Aula Dej. 8 (1), 154-167.
- (2) STELL R.G.D., y TORRIE J.H., 1986. Bioestadística: principios y procedimientos (segunda edición) 622 pp. Ed. McGraw-Hill. México.
- (3) GAMBORG O.L., 1984. Plant cell cultures: nutrition and media, pp. 18-26. En: Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants. Vol. 1, I.K. Vasil (Ed.), 825 pp. Ed. Academic Press, Orlando (EEUU).
- (4) ANGEL I., 1972. The use of fasciculate form (determinate habit) in the breeding of new Hungarian pepper varieties. Third Eucarpia Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum, 17-24, Universidad de Turín (Italia).

ITEA

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

AÑO XXIX (1998), Vol. 94A N.º 2

ÍNDICE

	Página
M.L. GARCÍA, J. CIFRE, M.P. VIUDES DE CASTRO.- Comparación entre la inseminación artificial y la monta natural en España. Estudio económico teórico	81
E. FANTOVA, CH. BRU, E. SEVILLA, J. QUINTÍN, S. CONGOST, J.L. ALABART, J. FOLCH.- Resultados de inseminación artificial en el marco del esquema de selección por prolificidad en las ganaderías de Carnearagón	93
L. TORRANO, J. VALDERRÁBANO.- Determinación de la entrada en pubertad en cabras blancas celtibéricas nacidas en otoño mediante observación de celos y análisis de progesterona . . .	101
K. OSORO, M. OLIVÁN, R. CELAYA.- Comportamiento productivo de las vacas de cría en comunidades vegetales de montaña constituidas por <i>agrostis-festuca-nardus-calluna</i> y dominadas por herbáceas.	109
N. VANDENBERGHE, M.L. CELA CASTRO, M. RICO GÓMEZ, A. CEULAR VILLACÉ, A. MORENO GRANDE.- El mercado en origen de la leche: formación de los precios y estructura de los ingresos de los ganaderos	125
J. FERNÁNDEZ, M.A. TORO.- Uso de la programación lineal en esquemas de conservación o mejora animal	141