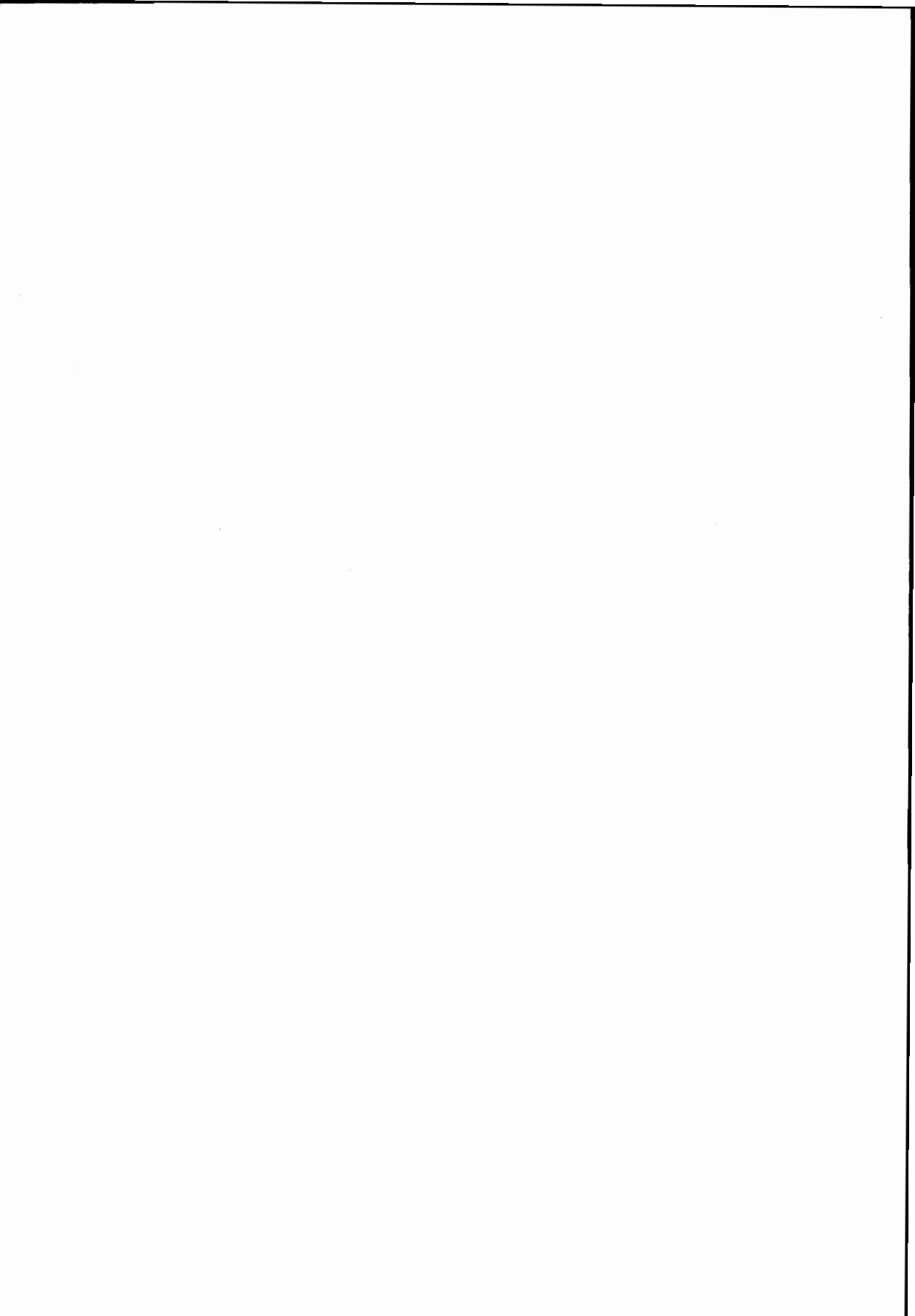


CAPÍTULO IV

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE CAMADA EN CONEJO: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN POR HIPERPROLIFICIDAD

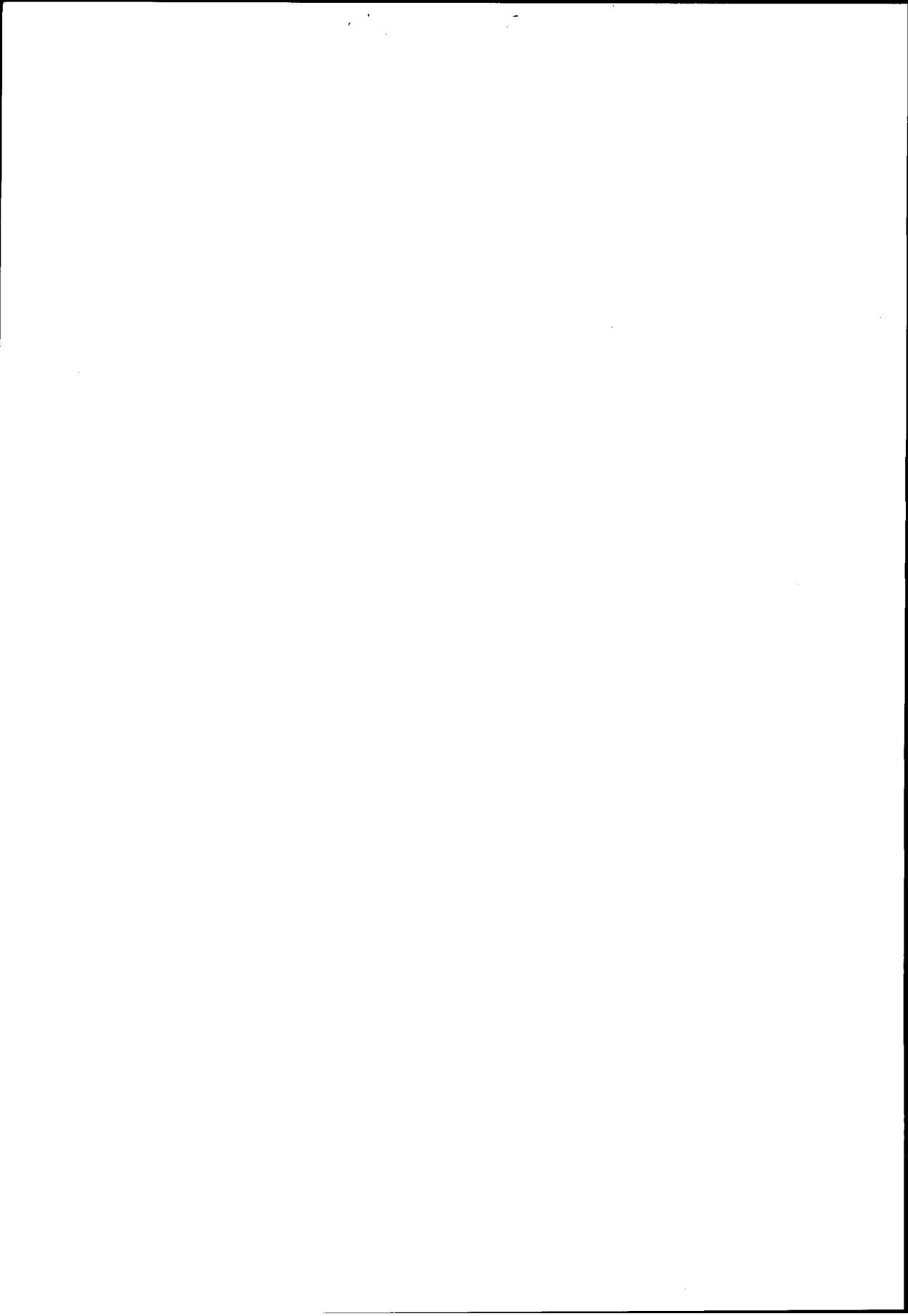
Manuel Baselga



ÍNDICE

0. Introducción
1. La mejora genética del conejo de producción de carne
2. La selección del tamaño de camada
3. La selección del tamaño de camada, basada e la detección de hembras hiperprolíficas
 - 3.1. Fundamento teórico
 - 3.2. Resultados experimentales
4. La selección del tamaño de camada en conejo, utilizado hembras hiperprolicas
 - 4.1. Detección y explotación de hiperprolificidad
 - 4.2. Esquema de constitución de la línea H
 - 4.3. Evaluación de la líneas
 - 4.4. Conclusiones
5. Resumen y primeras conclusiones

Principales fuentes consultadas



0. Introducción

A lo largo del presente capítulo se va a efectuar un análisis de las posibilidades que se ofrecen, en el caso del conejo destinado a la producción de carne la selección por hiperprolificidad.

En nuestro análisis vamos a partir de la hipótesis de que se sigue un esquema de cruzamiento de tres vías. En este marco es muy importante revisar las experiencias de selección de las líneas maternas en función del tamaño de las camadas.

A continuación se van a revisar, como ya se ha indicado, las posibilidades que ofrece la alternativa de selección por hiperprolificidad. En este análisis se va a discutir el fundamento técnico de este método y los resultados conseguidos en el caso del ganado porcino.

Por último se va a describir y analizar la única experiencia existente, hasta la actualidad, de la selección por hiperprolificidad en conejos.

Sin duda, este es un campo que ofrece un elevado interés en el mundo cunícola.

1. La mejora genética del conejo de producción de carne

La mejora genética del conejo de producción de carne se orienta considerando dos tipos de animales, que resultan básicos en esta producción. El primero de ellos es la hembra a la que se le va a exigir regularidad en la sucesión de sus partos y tamaños de camada elevados hasta el momento del destete. El segundo de ellos son los gazapos producidos por las hembras anteriores de los que se espera que sean capa-

ces de crecer con rapidez, aprovechar eficientemente el alimento y tener razonables cualidades de canal y carne. El interés económico de estos caracteres desde un punto de vista de la selección genética, en un contexto de cría intensiva, ha sido analizado por Armero y Blasco (1992).

El modo de conseguir la hembra referida es recurrir al cruzamiento entre dos **líneas maternales** especializadas en los caracteres mencionados, esencialmente seleccionadas por el tamaño de camada al nacimiento o al destete. La inclusión conjunta de caracteres reproductivos y de crecimiento en el desarrollo de líneas ha sido poco frecuente y la razón fundamental radica en la conveniencia de que la **hembra cruzada** no tenga un formato excesivo lo que elevaría los costes de mantenimiento y dificultaría su adaptación al suelo de rejilla de las jaulas. Recientemente, Poujardieu *et al.* (1998) han modificado la selección de una de sus líneas maternales, considerando además del tamaño de camada, el peso de los gazapos al destete, como forma de evitar el deterioro de este carácter que se observa en algunas líneas maternales y que en opinión de los autores citados, tendría consecuencias negativas no solo sobre la supervivencia de los gazapos, sino incluso sobre el peso adulto, de tal manera que éste se vería reducido, llegando a comprometer la capacidad de las hembras para soportar la producción regular de camadas de gran tamaño.

La selección de las líneas maternales con las que se va a obtener la hembra cruzada ha seguido mayoritariamente una metodología de selección intralínea y no un procedimiento como la selección recíproca recurrente, pese a ser éste un procedimiento específico para esta situación. No obstante el que no se haya demostrado con claridad la superioridad de la selección recíproca recurrente sobre la selección intralínea, las mayores dificultades de su puesta en práctica, las pequeñas respuestas iniciales esperables y la falta de flexibilidad, justifican la elección mayoritaria de la selección intralínea, no solo en conejos, sino también en otras especies prolíficas como cerdos e incluso aves.

La solución elegida para que los gazapos crezcan rápida y eficientemente, ha sido el apareamiento de las hembras cruzadas con

machos de **líneas paternas**, líneas que se suelen seleccionar por el crecimiento diario post-destete (Rochambeau *et al.*, 1989; Estany *et al.*, 1992) con el objetivo de mejorar dicho carácter y fundamentalmente el índice de conversión de pienso en carne. Este procedimiento, con metodologías de selección sencillas como la selección individual está dando buenos resultados en los caracteres anteriores y el consumo diario, pero con algunas consecuencias negativas en la madurez de los animales al peso de sacrificio comercial y en el rendimiento a la canal (Torres *et al.*, 1992; Feki *et al.*, 1996; Pla, 1996; Gómez *et al.*, 1998).

2. La selección del tamaño de camada

La primera propuesta metodológica de seleccionar líneas en conejo para mejorar el tamaño de camada al nacimiento o al destete es la de Matheron y Rouvier (1977), que desarrollaron un índice que utilizaba información de la hembra a evaluar de su madre y de un número fijo de hermanas y medio hermanas. Posteriormente, Baselga *et al.* (1984) extendieron el índice anterior a la situación general de disponer de una cantidad variable de información lo que permitía, además, valorar machos. En 1983, empezó a utilizarse el método BLUP, con un modelo animal de repetibilidad, que valoraba tanto machos como hembras, considerando todos los datos y los efectos fijos del año-estación y del estado de las hembras (Estany *et al.*, 1989). A través de cualquiera de los métodos que valoran machos y hembras la selección por tamaño de camada se ha realizado dejando, como reproductores de la generación siguiente, los descendientes de los mejores apareamientos. Los resultados obtenidos al aplicar los métodos anteriores en la selección de diversas líneas de conejos, en programas de larga duración son muy inferiores a los calculados por Matheron y Rouvier (1977), del orden de la tercera parte de la que se esperaba, pese a que en los cálculos se suponía una heredabilidad de 0.05 para el tamaño de camada. Los resultados a que nos referimos en el párrafo anterior son los que corresponden a las líneas maternas desarrolladas por el INRA (Francia) y por el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Politécnica de Valencia (España). El análisis de las diecisiete primeras

generaciones de las líneas del INRA (Poujardieu *et al.*, 1998) y él de las once y ocho generaciones de las dos líneas de Valencia (Baselga *et al.*, 1992) daban estimas de la respuesta por generación, entre 0.125 y 0.03 gazapos/camada.

Los intentos de explicar estos resultados han esgrimido diversos razones; entre ellas, la baja heredabilidad del tamaño de la camada al destete, con lo que ya se contaba en los cálculos iniciales; el antagonismo entre efectos directos y maternos que puede tener un efecto apreciable en la respuesta (Gómez, 1994), pese a que los efectos maternos no sean cuantitativamente importantes (Ferraz *et al.*, 1992; Gómez, 1994); la heterogeneidad del determinismo genético entre partos (Gómez *et al.*, 1994); el incremento de la consanguinidad, los bajos diferenciales de selección aplicados y la deriva genética (Rouvier, 1991).

Otros experimentos de selección de tamaño de camada con resultados similares a los descritos anteriormente, pero de menor duración son los referidos por Gómez *et al.* (1996), que continúa realizándose en el IRTA (España); y por Narayan y Rawat (1985) y Narayan *et al.* (1985) que tuvo lugar en la India .

El único experimento que ha dado una respuesta apreciable es el analizado por Mgheni y Christensen (1985) realizado en Tanzania, con una duración de cuatro generaciones y diferenciales de selección elevados sobre datos de primer parto. La respuesta por generación fue alrededor de 0.40 gazapos/camada y las heredabilidades realizadas alrededor de 0.25. Esta experiencia fue una experiencia de selección divergente con línea control, siendo el tamaño de cada línea alrededor de 40 hembras y 20 machos por generación. Los animales eran Neozelandés Blanco, procedentes de una población con baja prolificidad, 6.7 gazapos.

En porcino, los resultados comunes han sido similares a los descritos en conejo y se han caracterizado por su nula o escasa respuesta (Vangen, 1981; Bolet *et al.* 1989), aunque si se ha obtenido en una línea inicialmente seleccionada por tasa de ovulación y posteriormente seleccionada por tamaño de camada durante ocho generaciones (Lamberson *et al.*, 1991).

En ratón los resultados son mejores que los obtenidos en conejo y cerdo, pero siguen siendo ligeramente inferiores a lo esperado (Nielsen, 1994).

Alternativas a la selección directa del tamaño de camada, que han intentado obtener respuestas mayores en este carácter han sido las que han seleccionado por sus componentes, tasa de ovulación y supervivencia fetal y las que han operado sobre la capacidad uterina. Experiencias del primer tipo existen en cerdos y en ratones.

En cerdos una experiencia de selección de la tasa de ovulación, prolongada durante nueve generaciones (Cunningham *et al.*, 1979), no dio respuestas significativas en tamaño de camada, pero después de dos generaciones sin realizar selección y ocho de selección por tamaño de camada si se consiguió respuesta en ésta, tal como hemos comentado anteriormente (Lamberson *et al.*, 1991). La respuesta respecto a la línea control fue de .74 lechones en tamaño de camada y una pérdida de 2.86 óvulos en la tasa de ovulación. En Francia se ha realizado un experimento de cuatro generaciones, implicando tres líneas de 50 hembras y 6 verracos (Bidanel *et al.*, 1996). Una línea fue la control, otra se seleccionó por tasa de ovulación y la tercera por supervivencia prenatal media en las dos primeras camadas, corregida por tasa de ovulación. En ningún caso se obtuvo respuesta en tamaño de camada. Casey *et al.* (1994) informan de una experiencia de selección en que obtienen una respuesta de 0.11 lechones da tamaño de camada al nacimiento por generación en una línea seleccionada por un índice que combinaba la tasa de ovulación y la supervivencia. La experiencia se prolongó durante diez generaciones, y la respuesta en tamaño de camada no fue significativa en las cinco primeras generaciones.

En ratón las experiencias similares han puesto en evidencia que la selección por tasa de ovulación no ha mejorado la prolificidad debido a un incremento de la mortalidad prenatal (Land y Falconer, 1969; Bradford, 1979). Por el contrario la selección por supervivencia prenatal si ha sido eficaz en mejorar el tamaño de camada, tanto cuando se utilizaba como criterio único de selección (Bradford, 1979) como cuando se combinaba en un índice con la tasa de ovulación (Kirby y

Nielsen, 1993; Clutter *et al.*, 1994). No obstante los resultados eran similares o inferiores a la selección directa por tamaño de camada.

Por lo que se refiere a la selección por capacidad uterina, existen experimentos en conejos y ratones, ovariectomizados unilateralmente como forma de sobrecargar el cuerno ipsilateral y poder así evaluar la capacidad uterina.

En conejos, uno de los dos experimentos era una experiencia de selección divergente en que conejas ovariectomizadas se seleccionaban por el número de fetos muertos entre la implantación y el parto de la segunda gestación (Bolet *et al.*, 1994). Tras tres generaciones de selección, no se obtuvo respuesta, ni en el carácter objeto de selección, ni en el tamaño de camada al nacimiento, que era el carácter que medía la capacidad uterina en las hembras ovariectomizadas. El segundo de los experimentos es también de selección divergente, pero el carácter que se selecciona es el tamaño de camada al nacimiento medida en hembras unilateralmente ovariectomizadas, registrado durante diversos partos (Argente *et al.*, 1996b; Santacreu *et al.*, 1996). Tras siete generaciones, la divergencia entre ambas líneas ha sido de un gazapo a favor de la línea alta, que se logró prácticamente en la primera generación. Esta diferencia se mantiene en hembras intactas y la componente que la explica es el número de embriones implantados, probablemente debido a diferencias en el ambiente uterino preimplantatorio entre las dos líneas.

En el experimento de ratones se seleccionaron hembras ovariectomizadas por su tamaño de camada y, tras trece generaciones, la línea seleccionada aventajaba a la línea control en 0.8 ratones (Nielsen, 1994) y ello parecía deberse a una mejor supervivencia prenatal en la línea seleccionada (Clutter *et al.*, 1994). La diferencia entre ambas líneas, tras veintiuna generaciones de selección, se elevó a 1.7 ratones.

Resumiendo, los resultados de los procedimientos indirectos de seleccionar el tamaño de camada, ninguno de los descritos, como la selección por tasa de ovulación, por supervivencia prenatal o capacidad uterina muestran una superioridad clara sobre la selección directa. Cuando ha habido respuesta correlacionada en tamaño de camada,

raramente ha sido superior a 0.1 gazapo, lechón o ratón por camada y generación, siendo frecuente respuesta inferiores, e incluso nulas.

Los experimentos que hemos descrito, referidos a la selección directa por el tamaño de camada, se han realizado siempre con líneas o poblaciones de animales que se tenían cerradas reproductivamente a lo largo de las generaciones, manteniendo el tamaño de la población o línea. La consecuencia de ello es que las presiones de selección aplicables no eran muy intensas y solían oscilar entre .2 y .50. La alternativa de intensificar fuertemente la presión de selección exige la práctica de la selección en poblaciones de mucho mayor censo y, si se practica cíclicamente, hay que pasar por generaciones de multiplicación de los individuos seleccionados para que reconstituyan las poblaciones a los tamaños originales.

Cuando la selección se aplica sobre el tamaño de camada y las hembras se seleccionan con presiones de selección del orden del 5% o inferiores se está seleccionando por hiperprolificidad. Este método ha sido y está siendo practicado con bastante frecuencia en cerdos, en general con éxito. No son raras las compañías de mejora genética porcina que tienen líneas que llaman **hiperprolíficas**, porque han sido desarrolladas con un criterio de selección de hiperprolificidad, semejante a lo que hemos descrito anteriormente. En lo que sigue nos vamos a centrar en esta alternativa de selección del tamaño de camada.

3. La selección del tamaño de camada, basada en la detección de hembras hiperprolíficas

3.1. Fundamento teórico

Es bien sabido que la respuesta esperada por unidad de tiempo en un programa de selección es función del intervalo generacional, de la intensidad de la selección, y de la precisión de la evaluación genética de los candidatos a la selección. La base de la selección por hiperprolificidad es utilizar como criterio el tamaño de camada, aplicar presiones de selección sumamente intensas en grandes poblaciones, de tal

manera que únicamente se seleccionan hembras de prolificidad extremadamente elevada. Según los casos, estas hembras pueden tener una superioridad genética aditiva del orden de 1.2 gazapos-lechones camada o más, respecto a la media de las hembras de la gran población en la que se ha efectuado la selección, lo cual es una superioridad muy elevada.

Dos aspectos problemáticos de esta selección son:

- a. Que el valor genético de las hijas de las hembras hiperprolíficas es el promedio del valor de éstas y del valor de los machos padres. Inicialmente este punto es importante, pues los machos tendrán un valor próximo a la media de la población base. La solución de este problema exige la detección sucesiva de grupos de hembras hiperprolíficas en la población base, que se van apareando a machos que van siendo para las primeras, machos promedio de la población base; para las segundas, hijos de las primeras; para las terceras, hijos de las segundas y nietos de las primeras y así sucesivamente. Procediendo del modo indicado, los hijos del primer grupo de hembras mantendrían la mitad de la superioridad de sus madres, los del segundo grupo tres cuartos y los del tercer grupo siete octavos. Es decir, si al primer apareamiento de hembras hiperprolíficas, siguen dos retrocruzamientos de este tipo de hembras a hijos del apareamiento anterior, se mantendría en su descendencia una superioridad de 1.05 gazapos/camada, sobre la población original si la superioridad de las hembras hiperprolíficas era de 1.2. El conjunto de selección sucesiva de hembras hiperprolíficas y su retrocruzamiento a los hijos del grupo anterior, forman la **fase de selección de un ciclo de selección por hiperprolificidad**.
- b. Que tras la conclusión de la parte de selección de un ciclo, los descendientes del último retrocruzamiento componen una población numéricamente muy inferior a la población original. Por tanto la realización de un nuevo ciclo de selección por hiperprolificidad, exigiría **la multiplicación** de los descen-

dientes durante varias generaciones, hasta sustituir completamente la población original. En esta nueva población, se iniciaría un nuevo ciclo de selección, que procediendo del modo anterior acumularía otros 1.05 gazapos/camada, sobre los conseguidos en el primer ciclo.

Analizando lo anterior, se observa que un ciclo completo de selección hiperprolífica requiere al menos de cinco-seis generaciones y que la fase de multiplicación para substituir la población base original puede ser difícil o imposible de realizar, salvo en los raros casos en que la reproducción de la población base está totalmente controlada por la organización que desarrolla el programa de selección por hiperproliferidad. Cuando esto no es así, la idea de selección por hiperproliferidad, puede ser útil para crear líneas de pequeño tamaño, de tipo maternal, aprovechando la respuesta que se obtiene en **la fase de selección**. Ello exige, dos, tres o cuatro generaciones, dependiendo del número de retrocruzamientos y la respuesta, puede ser mayor de 0.3 gazapos/camada por generación. La nueva línea maternal, así fundada deberá seguir siendo seleccionada, por un procedimiento distinto del de su fundación, dependiente de los objetivos de selección que queramos mantener, pero necesariamente a realizar en el contexto de tamaños poblacionales medios o pequeños y presiones de selección poco intensas.

3.2. Resultados experimentales

En porcino hay varias experiencias de selección por hiperproliferidad y en conejo una (Cifre, 1997) que en parte ha sido inducida por los resultados obtenidos en porcino y por la disponibilidad de técnicas reproductivas que como la congelación y la transferencia de embriones resultan prácticamente imprescindibles en muchas situaciones de aplicación en el conejo (García-Ximénez *et al.*, 1996; Vicente y García-Ximénez, 1993a y b).

A continuación resumiremos los resultados en porcino y en un apartado diferente detallaremos la experiencia del conejo.

La experiencia más antigua y mejor documentada es la que se inició en 1973 bajo la dirección del INRA (Francia) y su concepción está descrita por Legault y Gruand (1976). El procedimiento se basó en la detección de hembras de prolificidad excepcional en rebaños de la raza Large White y aparearlas inicialmente con machos de las poblaciones de partida y posteriormente a machos nacidos de los apareamientos anteriores, tal como hemos explicado en el apartado anterior. Apoyándose en el programa nacional de gestión técnica de explotaciones porcinas, pudo aplicarse una muy intensa presión de selección en la detección de hembras de elevada prolificidad; del orden del 0.2-0.3%. El criterio sobre el que se basaba la selección, era el índice de hembra, que se obtenía teniendo en cuenta todos los partos que una hembra había realizado, corrigiendo el efecto rebaño con el método de la comparación de contemporáneas.. El valor de la línea hiperprolífica francesa se ha confirmado en diversos estudios. En el correspondiente a Bidanel y Ducos (1994) ,en el que se hace una evaluación genética del tamaño de camada en las razas Landrace Y Large White francesas mediante un Blup modelo animal y repetibilidad, se muestra que las hijas de machos Large White de la línea hiperprolífica son superiores respecto a las hembras contemporáneas, hijas de otros machos de la raza. La superioridad se estimó en 0.6-0.7 lechones por camada. Esta diferencia, entre las medias de los valores aditivos predichos para ambos grupos, correspondería a la mitad de la superioridad de la línea sobre la población general de la raza, que sería de 1.2-1.4 lechones/camada.

Resultados de naturaleza similar, aunque con diverso grado de comprobación, se han obtenido en los trabajos de Bichard y Seidel (1982), Sorensen y Vernersen (1991) y Noguera *et al.*(1994). En el primero de ellos, realizado por la Pig Improvement Company (PIC) se aplicó una presión de selección de 1.7% para elegir las hembras prolíficas en un conjunto de 3600 cerdas Landrace y Large White, en base a la media de nacidos vivos en los cuatro primeros partos, realizándose dos retrocruzamientos. La superioridad que se obtuvo en la F1 del cruzamiento de las líneas hiperprolíficas, frente a la F1 de las líneas de partida, osciló entre 0.55 y 0.96 lechones/camada, aumentando del pri-

mer al cuarto parto. En la segunda experiencia, realizada en Dinamarca, se seleccionaban hembras y machos de las 150 y 30 mejores camadas de un total de 5392, en la raza Large White, siendo el método de valoración, un método Blup, modelo animal y repetibilidad. El carácter de selección, era el total de nacidos y la respuesta esperada era alrededor de 0.80 lechones/parto. La respuesta obtenida se ha estimado en torno a 0.60. En el tercero de los experimentos, realizado en España, la selección de los animales fundadores de la línea hiperprolífica se hizo, como en el caso Danés, utilizando el Blup, modelo animal y repetibilidad, para el carácter nacidos vivos, en la raza Landrace. Las hembras eran las mejores 160 de 2935 y los machos se obtuvieron de las 25 mejores camadas de 961. La respuesta esperada era de 0.35-0.41 lechones/parto, habiéndose observado una diferencia de 0.54 lechones entre la línea hiperprolífica y la control (Noguera *et al.*, 1997). Estas diferencias eran nulas para el primer parto y alcanzaban valores superiores en partos sucesivos.

La conclusión general, es que en todas las experiencias de selección por hiperprolificidad ha habido respuesta apreciable y que la utilización de esta alternativa se está enfocando a la fundación de líneas maternas. Así, el programa francés se ha ampliado con la fundación de nuevas poblaciones hiperprolíficas en Large White y Landrace.

4. La selección del tamaño de camada en conejo, utilizado hembras hiperprolicas

En conejo, únicamente hay resultados de una experiencia (Cifre, 1997) de utilización de hembras hiperprolíficas para la fundación de una nueva línea maternal, cuyo destino final es el integrarse en un esquema de cruzamiento, para obtener hembras cruzadas. Esta experiencia se desarrolló en el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Politécnica de Valencia. En lo que sigue se van a detallar las peculiaridades metodológicas y los resultados de ella. En lo que concierne a metodología, en contraste con las experiencias en cerdo, las características de explotación y organización de los conejos, han exigido soluciones específicas.

4.1. Detección y explotación de la hiperprolificidad

En conejo no es posible tener acceso a grandes poblaciones de animales de una raza determinada, con controles genealógicos y de producción individualizada, y que sigan un proceso de selección definido, de tal manera que sus animales sean competitivos en la producción actual. Por contra, las grandes poblaciones a las que se puede acceder para aplicar presiones de selección muy intensas, son las poblaciones de las granjas de producción, que se caracterizan por ser genéticamente muy heterogéneas y el control individual se limita a los datos relacionados con los partos de las hembras. Es posible conocer, por parto, el número de nacidos totales o, al menos, de nacidos vivos de las hembras existentes en una granja. En razón de lo que acabamos de comentar, la detección de hembras hiperprolíficas tuvo que realizarse con criterios más sencillos y menos precisos que los que se han indicado en las experiencias del porcino. Así, se consideró a una coneja como hiperprolífica (HH), cuando cumplía uno o ambos de los dos criterios siguientes:

- a. Tener 17 o más nacidos vivos en algún parto, que es lo que llamamos **criterio puntual**.
- b. Tener un número de nacidos vivos acumulado para el conjunto de partos conocidos, igual o superior a los umbrales indicados en el cuadro 1 que es lo que llamamos **criterio acumulado**.

Cuadro 1. Umbrales por parto del criterio acumulado de hiperprolificidad.

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| NP¹ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| NV_{ac}¹ | 16 | 28 | 41 | 53 | 66 | 78 | 90 | 102 | 115 | 127 | 139 |

¹NP: número de partos NV_{ac}: nacidos vivos acumulados

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la bibliografía.

El criterio acumulado se ha calculado para detectar el 1 por 100 de las mejores hembras, dentro de grupo de número de partos realizados, bajo la hipótesis de que la media de las poblaciones comerciales era de 9 nacidos vivos, siendo 7 la varianza fenotípica del carácter y 0.2 la repetibilidad.

Por lo que se refiere a la utilización de las hembras hiperprolíficas pueden aparecer problemas de orden sanitario, de espacio y de tiempo. Los problemas de orden sanitario se derivan del hecho de juntar en un mismo local animales procedentes de muy diversas procedencias. El problema se puede resolver reuniendo, poco a poco, los animales en un pequeño local en el que se realizan los apareamientos y la descendencia se obtiene por histerectomía o en forma de embriones vitrificados (García-Ximénez *et al.*, 1996). El primer método es útil si los animales van a ser utilizados inmediatamente. El segundo es necesario, cuando además de los problemas sanitarios es necesario demorar el momento en que la descendencia alcance el estado adulto, bien porque no se disponga de espacio para su correcto alojamiento, bien porque sea necesario esperar a que, por ejemplo se tenga un número suficiente de descendientes de hembras HH y se desee que toda la descendencia se coetánea.

4.2. Esquema de constitución de la línea H

Tal como se ha advertido en el apartado del **fundamento teórico** la fundación de la línea se realizó a través de la **fase de selección** de un **ciclo de selección por hiperprolificidad**. A su vez la fase de selección se compuso de dos etapas de recogida de hembras HH, es decir, únicamente se realizó un retrocruzamiento. Seguidamente detallamos las dos etapas.

Cuadro 2. Número de animales y eficiencia¹ en la primera etapa de fundación de la línea H.

| Tipo de animal | Disponibles | Apareados | Con hijos sHH |
|-------------------|-------------|-----------|---------------|
| Machos V | 16 | 9 | 9 |
| Hembras HH | 32 | 28 (87.5) | 20 (71.4) |

¹ Eficiencia: Expresada en % (en paréntesis) y referida al número de hembras HH de un paso, respecto al anterior.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la bibliografía.

4.2.1. Primera etapa

En ella se recogieron un pequeño grupo de hembras vacías HH (32) que se aparearon a los machos de la línea V (16), con mejor predicción del valor aditivo para el tamaño de camada al destete, existentes en cinco núcleos de selección de esta línea. Se eligió esta opción, frente a recoger hembras HH gestantes, pues de este modo aumentábamos el valor genético de los hijos descendientes de esta primera recogida de hembras HH. A estos machos les llamaremos sHH, fueron gestados en un pequeño local de cuarentena (20 jaulas), obtenidos por histerectomía y criados hasta la edad adulta en la granja del Departamento de Ciencia Animal. La tabla 2 muestra la eficiencia de los diferentes pasos de esta etapa.

4.2.2. Segunda etapa

En ella el número de hembras HH recogidas fue sensiblemente mayor que en la primera etapa. Fueron 136 hembras procedentes de 28 granjas, que poco a poco se alojaban en el mismo local de cuarentena de la primera etapa, al cual se iban trasladando, conforme resultaban necesarios, machos sHH (47) que se apareaban con las hembras HH. El tercer día post-monta se sacrificaban las hembras, se recuperaban los embriones y se vitrificaban. Así, se resolvían los problemas sanitarios; los de coetaneidad de estos animales, pues la detección y disponibilidad de hembras HH era lenta; y los problemas de disponibilidad de espacio

de la granja del Departamento de Ciencia Animal. En definitiva se lograron vitrificar, 1068 embriones procedentes de 103 hembras HH.

Posteriormente se procedió a su descongelación y transferencia a hembras V, en la granja del Departamento, consiguiéndose que 474 animales alcanzasen la edad de 9 semanas, de los que 103 hembras y 71 machos se mantuvieron en la granja constituyendo la generación fundadora de la línea H (H0). El resto de animales se distribuyó en tres granjas comerciales con el objeto de evaluar la productividad de la línea H. En el cuadro 3 nos muestra la eficiencia en esta etapa, en lo que concierne a las hembras HH y el cuadro 4 respecto a embriones y descendencia.

Cuadro 3. Número de hembras HH y eficiencia¹ en su uso durante la segunda etapa de la fundación de la línea H.

| Disponibles | Con embriones vitrificados | Con embriones descongelados | Con descendencia nacida viva | Con descendencia a 9 semanas |
|--------------------|---|--|---|---|
| 136 | 103 (75.7) | 100 (97.1) | 94 (94) | 87 (92.5) |

¹ Eficiencia :expresada en % (en paréntesis) de un paso respecto al anterior

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la bibliografía.

Cuadro 4. Número¹ de embriones y descendencia obtenida en la segunda etapa de la fundación de la línea H.

| | Embr. normales | Embr. vitrificados | Nacidos totales | Nacidos vivos | Nº de destetados | Nº a 9 semanas |
|-----------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| nº | 1102 | 1068 (97) ² | 550 (50) | 519 (47) | 494(45) | 474(43) |
| m | 10.8 | 10.5 | 5.9 | 5.6 | 5.3 | 5.0 |
| sd | 3.6 | 3.3 | 3.2 | 3.2 | 3.1 | 3.0 |

¹ Número total obtenido(nº), media por parto (m) y desviación típica(sd)

² Entre paréntesis porcentaje de eficiencia del paso correspondiente, respecto al total de embriones normales.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la bibliografía.

4.3. Evaluación de la línea

Debido a la heterogeneidad de la población de selección de las hembras HH, no era sencillo plantear una comparación de la línea H con una muestra representativa de aquella población. Dado que el objetivo era fundar una línea capaz de competir con las líneas existentes, se optó por compararla con animales de la línea V y con hembras cruzadas AxV. Estos dos tipos de animales se caracterizan por tener una prolificidad elevada, superior a la media de la población comercial de la que se seleccionaron las hembras HH (Rafel *et al*, 1996).

La comparación se extendió, además de la generación H0, a la primera generación (H1) y a la segunda (H2), con el fin de considerar los eventuales efectos de heterosis de la H0, que de existir irían perdiendo importancia en las generaciones siguientes, H1 y H2. De la generación H0, se pasó a las siguientes sin selección, procurando en ellas la máxima representación de los animales H0. El cuadro 5 muestra la distribución de tipo de animales y granjas implicadas en la comparación.

Cuadro 5. Distribución de hembras en la evaluación de la línea H.

| Tipo de animal | Granja ¹ | | | | |
|----------------|---------------------|------------|------------|------------|-----------|
| | Total | U | P | O | J |
| V | 237 | 199 | - | - | 38 |
| AxV | 115 | - | 54 | 61 | - |
| H0 | 156 | 89 | 24 | 24 | 19 |
| H1 | 220 | 129 | 31 | 31 | 29 |
| H2 | 130 | 130 | - | - | - |
| Total | 858 | 547 | 109 | 116 | 86 |

¹ Granja: U-granja del Departamento-, J- núcleo de selección de la línea V-, P y O-granjas comerciales-.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la bibliografía.

4.3.1. Caracteres estudiados

En todas las granjas se controló para cada hembra y parto la fecha de éste, lo que permitía calcular el intervalo entre partos (**IP**); el número de nacidos totales (**NT**) y el número de nacidos vivos (**NV**), en las primeras veinticuatro horas después del parto, y a los veintiocho días se registraba el número de gazapos destetados (**ND**).

En la granja U se midieron además los siguientes caracteres:

- a. Número de animales que llegan al final del período de engorde (**NS**).
- b. Eso total de la camada al nacimiento(en gr.) en el momento de controlara el parto y referido sólo a los nacidos vivos (**PTCN**).
- c. Número de gazapos a los 21 días (**N21**) en hembras H1, H2 y V.
- d. Peso de la camada a 21 días de vida (en gr. **PTC21**), también en H1, H2 y V.

Los caracteres hasta aquí referidos son, esencialmente, caracteres reproductivos y de capacidad maternal de las hembras que son cruciales para caracterizar una línea maternal. De forma complementaria también se controlaron, en la granja U, algunos caracteres de crecimiento de la descendencia como el peso al destete (28 días, en gr., **PD**), el peso al sacrificio (63 días, en gr., **PS**) y la ganancia diaria (en gr./día, **GD**).

Los detalles de los modelos de análisis de estos caracteres puede verse en Cifre *et al.*(1998 a y b) y en esencia se utilizaron modelos mixtos en los que uno de los efectos fijos era el tipo de animal, **T** (V, AxV, H0, H1 y H2). En los efectos aleatorios se consideró el efecto aditivo del animal, **a** y, para los caracteres reproductivos el efecto permanente no aditivo de la hembra, **p**; mientras que para los caracteres de crecimiento, se consideró el efecto camada de nacimiento, **c**.

El cuadro 6 muestra el número total de datos analizados para cada carácter.

| T | NT¹ | IP | NS | PTCN | N21² | PD | PS, GD |
|--------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------|------------------------|-----------|---------------|
| V | 796 | 568 | 653 | 634 | 368 | 5370 | 5058 |
| AxV | 576 | 460 | - | - | - | - | - |
| H0 | 547 | 389 | 294 | 291 | - | 2532 | 2245 |
| H1 | 750 | 527 | 369 | 364 | 356 | 3119 | 2957 |
| H2 | 171 | 48 | 171 | 171 | 167 | 1498 | 1419 |
| Total | 2840 | 1992 | 1487 | 1460 | 891 | 12519 | 11679 |

¹ Los mismos datos para NV y ND

² Los mismos datos para PTC21

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la bibliografía.

4.3.2 Resultados

4.3.2.1. Caracteres reproductivos

Una presentación completa de estos resultados, relativa a todos los caracteres reproductivos y a los distintos efectos considerados en los modelos, puede encontrarse en Cifre *et al.* (1998a y b). Aquí nos limitaremos a exponer únicamente los resultados concernientes al tipo de animal. Primeramente, para dar una idea de los niveles productivos de este experimento, mostramos en la tabla 7 las medias y desviaciones típicas de los datos, obtenidas en un análisis descriptivo sin considerar ningún tipo de modelo explicativo.

Cuadro 7. Medias (m) y desviaciones típicas (sd) de nacidos totales (NT), vivos (NV), número de gazapos a los 21 días (N21), destetados (ND) y número a los 63 días (NS) por camada e intervalo entre partos (IP).

| Carácter | NT | NV | N21 | ND | NS | IP |
|----------|-------|------|------|------|------|-------|
| m | 10.36 | 9.56 | 8.48 | 8.11 | 7.87 | 46.5 |
| sd | 2.90 | 3.41 | 2.95 | 3.03 | 2.97 | 10.03 |

Fuente: Bibliografía referenciada.

En el cuadro 8 se muestran los contrastes entre los distintos tipos de animales para los caracteres reproductivos. Los contrastes entre la generación 0 de la línea H y el promedio de las generaciones 1 y 2 sólo son significativos para NT, lo que es un indicador de que la heterosis no ha sido importante en la determinación de los rendimientos reproductivos de la generación 0, salvo para el número de nacidos totales por camada. La superioridad de la línea H frente al promedio de la línea V y las hembras cruzadas AxV fue significativa para todos los caracteres de tamaño de camada para los que se realizó la comparación y en nacidos vivos la superioridad fue de 0.67 gazapos. La respuesta esperada respecto a la media de las poblaciones comerciales de las que se obtuvieron las hembras HH, suponiendo que todas estas hembras hubiesen cumplido el criterio de selección acumulado, era de 0.84 nacidos vivos, despreciando la posible mejora conseguida por el uso de los mejores machos de la línea V en la primera etapa fundacional (García-Ximénez *et al.*, 1996). Considerando que la población comercial, en su conjunto, debe de tener una media inferior a la media de la línea V y de las hembras cruzadas, el resultado anterior nos indica que la realización de la **fase de selección de un ciclo de selección por hiperprolificidad**, compuesta por un primer cruzamiento y un único retrocruzamiento ha conseguido una mejora importante de la prolificidad respecto a la población comercial.

Cuadro 8. Contrastes entre tipo^a de animales y orden de parto^b para nacidos totales (NT), vivos (NV), número de gazapos a los 21 días (N21), destetados (ND) y número a los 63 días (NS) por camada e intervalo entre partos (IP).

| Contraste | NT | NV | N21 | ND | NS | IP |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| H0 - (H1+H2)/2 | 0.77* | 0.37 | - | -0.05 | -0.49 | 1.70 |
| H0 - H1 | 1.05* | 0.75* | - | 0.17 | -0.52 | 0.27 |
| H0 - H2 | 0.48 | 0.00 | - | -0.27 | -0.46 | 3.12 |
| H1 - H2 | -0.57 | -0.74 | 0.30 | -0.44 | 0.06 | 2.85 |
| H - V | 0.48* | 0.58* | 0.84* | 0.48* | 0.46 | -1.06 |
| H - AxV | 0.82* | 0.76* | - | 0.54 | - | -0.27 |
| H - (V+AxV)/2 | 0.65* | 0.67* | - | 0.51* | - | -0.67 |
| H¹ - V¹ | 0.64* | -0.04 | -0.18 | -0.53 | -0.64 | - |
| H² - V² | 0.23 | 0.23 | 0.15 | 0.18 | 0.10 | -3.13* |
| H³ - V³ | 0.74* | 0.93* | 0.98* | 0.80* | 0.48 | 0.24 |
| H⁴ - V⁴ | 0.98* | 1.22* | 3.03* | 1.40* | 1.80* | 0.43 |
| H¹ - AxV¹ | 0.98* | 1.33* | - | 0.78 | - | - |
| H² - AxV² | 0.71 | 0.38 | - | 0.75 | - | -0.32 |
| H³ - AxV³ | 0.71* | 0.58 | - | 0.15 | - | 1.41 |
| H⁴ - AxV⁴ | 1.13* | 0.76 | - | 0.43 | - | -1.20 |

^a Tipo de animal: V línea V; H0, H1 y H2, línea H y generaciones 0, 1 y 2; AxV, hembra cruzada

^b Los superíndices indican el parto considerado: 1, primero; 2, segundo; 3, tercero y cuarto, 4, quinto y siguientes. La ausencia de superíndice indica la totalidad de partos. *Contraste estadísticamente significativo p < 0.05.

Fuente: Bibliografía referenciada.

El análisis del intervalo entre partos en nuestro experimento tiene el interés de poder descartar la posibilidad de que la elevada prolificidad conseguida en la línea H, lo hubiese sido a costa de un incremento del intervalo entre partos. El valor fenotípico medio (Tabla 7) fue de 46.5 días para el conjunto de todos los animales, lo que supone un promedio de 7.8 partos por coneja y año. Si se tiene en cuenta que el ritmo reproductivo practicado en este experimento fue el de cubrir 10-12 días post-parto, resulta que el intervalo obtenido supera únicamente en 4.5 días al mínimo posible con el ritmo practicado. En España el intervalo medio dado por los programas de gestión (Ramón *et al* , 1996) es de 51 días, lo que evidencia que los animales de la experiencia, no sólo tuvieron una buena prolificidad, sino también una excelente fertilidad. Al comparar el intervalo entre partos entre los distintos tipos de animales (cuadro 8) no se encontraron diferencias significativas, prácticamente en ninguno de los contrastes realizados. Únicamente se observó una diferencia importante y significativa de -3.13 días a favor de las hembras H frente a las V en el segundo parto. En consecuencia los resultados nos indican que la mejora de la prolificidad alcanzada en la línea H se ha conseguido sin deteriorar la fertilidad.

4.3.2.2. Caracteres ponderales de las camadas

En el conejo, como en otras especies múltiparas, se ha observado un mayor peso de la camada al nacimiento, cuando aumenta el tamaño de ésta. (Khalil *et al.*, 1987). A pesar de ello el peso individual de los gazapos al nacimiento se ve penalizado con el aumento del tamaño de camada al nacimiento, como ha sido observado por diversos autores(Breuer y Clausen, 1977; Vicente *et al.*, 1995) y en experiencias de selección del tamaño de camada de larga duración (Poujardieu *et al*, 1998). Argente *et al.*(1996a) obtuvieron una correlación negativa entre el tamaño de camada y el peso individual de los gazapos al nacimiento, si bien en sus líneas este carácter no parece ser crítico en la supervivencia de los gazapos dada su reducida correlación con la supervivencia. Pese a todo resulta interesante estudiar si la línea H de elevada prolificidad presenta problemas de peso al nacimiento y de producción de leche que pudieran comprometer la viabilidad de los gazapos. El peso de la camada a los 21 días es aceptado como un indi-

cador indirecto de la producción de leche (Lebas, 1969; de Blas y Gálvez, 1973). En el cuadro 9 se dan los valores medios y desviaciones típicas para el peso de la camada al nacimiento y a los 21 días del total de los datos analizados sin consideración del modelo.

Cuadro 9. Medias (m, gr.) y desviaciones típicas (sd, gr.) del peso de la camada al nacimiento (PTCN y a los 21 días (PTC21).

| Carácter | PTCN | PTC21 |
|-----------------|--------------|--------------|
| m | 543.5 | 2630 |
| sd | 177.7 | 769 |

Fuente: Bibliografía referenciada.

El cuadro 10 muestra los contrastes entre los efectos del tipo de animal corregido por tamaño de camada al nacimiento o a los 21 días para ver si el peso al nacimiento o la disponibilidad de leche por gazapo en la línea H se ha deteriorado. Estos contrastes muestran para el peso al nacimiento que no hay diferencias entre líneas cuando la comparación se hace a tamaño de camada constante, salvo en la comparación de las generaciones 0 y 1 de la línea H, que resulta favorable a la última y que, por tanto, descarta la presencia de heterosis en la generación 0 para este carácter. Los resultados para el peso a 21 días siguen un patrón distinto, pues aunque las diferencias entre líneas se anulan al considerar el conjunto de partos, el análisis de los resultados parto a parto muestra la superioridad de la línea H frente a la V en el segundo y cuarto partos. Este resultado y la consideración de que la comparación de las líneas sin corregir por tamaño de camada, favorecería a la línea H frente a la línea V, dado el valor del coeficiente de regresión de la covariable (cuadro 10), lleva a la conclusión de que la línea H mantiene una mayor capacidad de producir leche que la V. Globalmente se puede afirmar que la elevada prolificidad de la línea H se ha conseguido sin detrimento en el peso de los gazapos al nacimiento, es decir sin comprometer su viabilidad inicial y con un ligero incremento de la capacidad láctea por gazapo. El que esta superioridad no salga significativa en los partos siguientes al quinto, muy posiblemente se deberá al reducido número de registros de estos partos.

Cuadro 10. Contrastes entre tipo^a de animales y tipo por orden de parto^b para peso de la camada al nacimiento (PTCN, gr.) y a los 21 días (PTC21, gr.).

| Contraste | PTCN | PTC21 |
|--------------------------------------|--------|--------|
| H0 - (H1+H2)/2 | -20.8 | - |
| H0 - H1 | -23.5* | - |
| H0 - H2 | -18.1 | - |
| H1 - H2 | 5.4 | 32.8 |
| H - V | 7.2 | 76.9 |
| H¹ - V¹ | -3.6 | 26.9 |
| H² - V² | 8.0 | 270.0* |
| H³ - V³ | 6.9 | 158.7* |
| H⁴ - V⁴ | 21.4 | -164.9 |
| b^c | 45.3* | 209.4* |

^a Tipo de animal: V línea V; H0, H1 y H2, línea H y generaciones 0, 1 y 2

^b Los superíndices indican el parto considerado: 1, primero; 2, segundo; 3, tercero y cuarto, 4, quinto y siguientes. La ausencia de superíndice indica la totalidad de Partos. *Contraste estadísticamente significativo p < 0.05.

^c b: coeficiente de regresión de la covariable.

Fuente: Bibliografía referenciada.

4.3.2.3. Caracteres de crecimiento individual de los gazapos

Pese a que como ya se ha comentado anteriormente, la selección de líneas de tipo maternal se hace en base al tamaño de camada, sus características de crecimiento no son irrelevantes (Baselga y Blasco, 1989), pues participan con la línea paternal en la determinación de la capacidad genética de crecer de los gazapos que van a la producción de carne. De aquí el interés de comparar la capacidad de crecimiento de

los animales de la línea H, para lo que se pesaron al destete animales de la línea H y de la línea V; 12519 animales al destete y 11675 al final del período de engorde (Cuadro 11).

Cuadro 11. Medias (m) y desviaciones típicas (sd) del peso al destete (PD, gr.), peso al sacrificio (PS, gr.) y ganancia diaria post-destete (GD, gr./d).

| Carácter | PD | PS | GD |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| m | 542 | 1881 | 38.1 |
| sd | 117 | 240 | 5.0 |

Fuente: Bibliografía referenciada.

El cuadro 12 muestra los contrastes entre los distintos tipos de animales para los caracteres anteriores. Así se observa que la línea H tiene un mayor peso al destete y al sacrificio que la línea V, siendo estas diferencias significativas. Respecto al carácter ganancia diaria el contraste es favorable a la línea H en 0.67 gr./d, aunque no resultó estadísticamente significativa. La no significación del contraste entre la generación 0 de la línea H y las generaciones 1 y 2 de esta línea para el peso al destete nos indica que la heterosis, si existió, fue poco importante en la generación 0 para este carácter. No obstante para el peso al sacrificio y la ganancia diaria post-destete la heterosis pudo estar presente en la generación 0.

Resumiendo los resultados de este grupo de caracteres podemos decir que la línea H presenta un peso al destete ligeramente superior a la línea V, tal como apuntaban ya los datos de los pesos a las tres semanas, lo que constata el hecho de que la elevada prolificidad de la línea H va acompañada de unas buenas cualidades maternas hasta el final de la lactación. La diferencia en peso al destete se mantiene o incluso se agranda durante el cebo. En definitiva la línea H mantiene, como línea maternal unas aceptables características de crecimiento individual de sus animales.