



## La mejora genética en caprino lechero de raza Murciano-Granadina

Seleccionar es decidir qué animales se van a reproducir y qué animales no. El ganadero o el técnico deben disponer de información actualizada y fiable para su toma de decisión. La mejora genética ha permitido grandes avances en la producción animal, a partir del uso de las evaluaciones genéticas para estimar los valores genéticos aditivos de los individuos. El siguiente paso es la selección genómica, utilizando la información de miles de marcadores genéticos distribuidos a lo largo del genoma. Y en ello estamos.

### PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA

Los programas de cría clásicos se basan en seleccionar como reposición aquellos animales que presentan los mayores valores genéticos aditivos estimados para algún carácter o índice de caracteres de interés. Los datos necesarios para poder estimar los valores genéticos de nuestros animales por métodos estadísticos son los siguientes:

1. ¿Quiénes son el padre y la madre de cada individuo?
2. Las medidas del carácter o de los caracteres a seleccionar —por ejemplo, el porcentaje de proteína en la leche— (**AMURVAL** gestiona la recogida de las mediciones para los distintos caracteres).

El control lechero oficial (**RD 663/2023 de 18 de julio**) se encarga de recoger periódicamente la producción de leche de cada cabra y permite estimar su producción a lo largo de toda su curva de lactación. Además, para conocer la composición de la leche, se envían muestras a los laboratorios autorizados de las comunidades autónomas, donde se obtienen porcentajes de grasa, proteína, lactosa y extracto seco a partir de estimaciones realizadas mediante equipos de espectrofotometría del infrarrojo medio.

Para poder realizar las valoraciones genéticas —con el método BLUP— en una asociación ganadera, además de tener datos de las

Imagen superior, ¿quiénes son mis padres? Esta es la importante pregunta que hay que responder en el programa de selección genética.

Las pruebas de descendencia permiten distinguir entre los machos basándose en la producción y calidad de leche de sus hijas.

Los sementales del programa de cría que están en los centros de inseminación permiten la conexión genética entre rebaños.

relaciones de parentesco, que nos informan de las conexiones genéticas entre individuos, y datos productivos, es necesario que existan conexiones genéticas entre los rebaños; o sea, que haya machos que tengan hijas produciendo en diferentes rebaños y que los rebaños tengan en producción hijas de machos diferentes. Esto solo es posible si existe un centro de sementales y un programa de inseminación que permita el transporte de semen de varios machos cada vez que se envían dosis a las diferentes ganaderías.

Para la evaluación genética de los machos, debe realizarse la prueba de la descendencia, que consiste en conseguir disponer de hijas del mismo semental en numerosos rebaños. Para lograr tanto la conexión de rebaños como el testaje de los machos candidatos, la inseminación artificial es una aliada necesaria. Además, esta nos permite difundir el progreso genético gracias a la distribución de dosis



Nuestro tesoro: los bancos de semen congelado permiten almacenar las dosis de los sementales y distribuirlos a cualquier lugar en cualquier momento.

de semen de los machos considerados mejorantes —con altos valores genéticos aditivos estimados— que se encuentran en los centros de inseminación. Efectivamente, un programa de mejora que no emplee la inseminación es un programa que no funcionará.

En los catálogos publicados anualmente por las asociaciones **ACRIMUR** y **CAPRIGRAN** aparecen los valores genéticos estimados para los caracteres de producción y de composición.



## OTROS CARACTERES

Además de los caracteres de producción y composición de leche, hay otros que son también de interés para la sostenibilidad del sector caprino lechero y por lo tanto susceptibles de ser incluidos en los programas de mejora. Entre ellos, los relacionados con la sanidad de la glándula mamaria, como es el recuento de células somáticas (RCS) en la leche, que se realiza en los laboratorios autonómicos con equipos de citometría de flujo. Las células somáticas son, mayoritariamente, leucocitos y, en menor medida, células epiteliales de descamación del tejido mamario. Los leucocitos llegan al tejido mamario y la leche a través del torrente sanguíneo, transferencia que tiende a aumentar cuando hay procesos inflamatorios relacionados con infecciones mamarias —generalmente bacterianas—, lesiones traumáticas o enfermedades sistémicas. Sin embargo, en cabras, la

utilización del RCS en leche para la detección de mastitis, constituye un proceso más complejo que en ovino y vacuno, porque, en ganado caprino, el RCS puede presentar grandes variaciones debido a la influencia de factores no infecciosos: edad del animal, estado de lactación, presencia de celo, estrés agudo, etc. (Mehdid et al., 2019). Para mejorar la interpretación del RCS como método de predicción de mastitis en un animal, es necesario disponer de múltiples análisis durante la lactación, así como conocer el número y estado de lactación. Aunque esta estimación puede usarse para emprender tratamientos de secado selectivos, la confirmación de que un animal esté afectado por una infección intramamaria subclínica exige un análisis microbiológico de muestras de cada una de las glándulas por separado, obtenidas en días de visita diferentes.

La mejora de la morfología mamaria alarga la vida productiva, reduciendo el riesgo de mastitis y los problemas de ordeño.

Otros caracteres que deberían incluirse en un programa de mejora son los morfológicos, puesto que están relacionados con la duración de la vida productiva de los animales, la facilidad de manejo y la sostenibilidad económica de las ganaderías. Estos caracteres tienen heredabilidades moderadas y, en algunos casos, correlaciones negativas con la producción de leche. Es el caso de los relacionados con las ubres —tamaño, implantación y orientación de los pezones—, que se asocian a un mejor rendimiento de la máquina de ordeño y la optimización del tiempo de trabajo. No obstante, a la relación idónea de la morfología de la ubre con la máquina de ordeño, deben sumarse otros requerimientos. Así, por ejemplo, si se realiza lactancia natural, es necesario que los cabritos localicen fácilmente los pezones. Es importante evitar ubres descolgadas porque aumentan el riesgo de mastitis y los problemas de ordeño. Tampoco son deseables los pezones orientados hacia las extremidades, ya que estos sufren rozaduras al caminar.

En la **Tabla 1** se presentan los caracteres normalmente empleados para la valoración de cada individuo en los diferentes apartados y para determinar la nota de calificación morfológica lineal general. Existe una metodología bien definida de calificación lineal (escala de 1 a 9) que puede ser utilizada por técnicos y ganaderos (Sánchez et al., 2009). En esta calificación morfológica también se identifican defectos de carácter eliminatorio: pezones supernumerarios, defectos en extremidades, color o marcas incorrectas para la raza, etc.

**TABLA 1. CARACTERES MORFOLÓGICOS EN GANADO CAPRINO PARA SU CALIFICACIÓN LINEAL**



ESTRUCTURA Y CAPACIDAD	ESTRUCTURA LECHERA
Alzada a la cruz	Angulosidad
Anchura de pecho	Calidad hueso
Profundidad corporal	
Anchura de grupa	
Ángulo de grupa	
PATAS Y PIES	SISTEMA MAMARIO
Vista posterior patas	Inserción anterior ubre
Vista lateral patas	Altura inserción posterior
Movilidad	Ligamento suspensor
	Anchura de ubre
	Profundidad de ubre
	Colocación de pezones
	Diámetro de pezones

Otro carácter de interés es la velocidad de ordeño (Blasco et al., 2016), puesto que la duración de este no depende solo de la cantidad de leche ordeñada. Hay cabras lentas y cabras rápidas. Y lo ideal es que sean de velocidades homogéneas para optimizar la entrada-salida de animales en la sala de ordeño. Con los equipos de ordeño actuales o con el uso de medidores electrónicos portátiles aprobados por el ICAR, es posible monitorizar el ordeño y conocer la variación del flujo de leche a lo largo del proceso. El registro de estos datos, altamente fiable, permite conocer la aptitud al ordeño de cada cabra y facilita el control lechero. La asociación AMURVAL tiene a su disposición 24 medidores LactoCorder, propiedad del IVIA y de la UPV, para registrar este tipo de información. Se escogió como carácter diana el flujo de leche en el primer minuto desde la aparición de leche en el colector, dada su heredabilidad (0,46) y su relación genética positiva con el total de leche diaria ordeñada (mayor de 0,40).



No bastan las apariencias. Es necesario analizar la información productiva y genealógica de la que dispone la Asociación de Ganaderos.

Por último, existe la posibilidad de aprovechar otras valiosas fuentes de información derivadas de los análisis espectrales de las muestras de leche (Miranda-Alejo et al., 2023). Para estimar la composición de las muestras de leche de cada cabra en control lechero se emplean espectrofotómetros del infrarrojo medio que hacen lecturas de más de mil longitudes de onda, y que solo utilizan una decena de ellas para estimar grasa o proteína de acuerdo con unas ecuaciones de regresión. Hay dos ideas para maximizar su utilidad:

1. Hacer selección directa sobre los valores de aquellas longitudes de onda que se definieran como las más importantes relacionadas con los caracteres de interés: producción, grasa y proteína, especialmente.
2. Utilizar toda esta información espectral individual para poder estimar los valores de nuevos caracteres —medidos previamente con métodos estandarizados—, ya sea con ecuaciones de regresión o como se refiere en el apartado anterior.



Ha comenzado la toma de muestras en rebaños de la Comunitat Valenciana para su análisis genómico.

## FUTURO PRÓXIMO: SELECCIÓN GENÓMICA

Son conocidos los avances de la genética molecular y de las pruebas de ADN para la detección de variantes genéticas relacionadas con una mayor susceptibilidad a padecer algunas enfermedades. En la actualidad, podemos detectar a lo largo de miles de puntos del ADN, si hay o no una variación de un nucleótido en alguno de esos puntos —existen cuatro nucleótidos posibles: A, T, G, C—. Partiendo de un esquema de selección en funcionamiento, si tenemos información de muchos individuos emparentados, podemos intentar

relacionar estadísticamente la información que proporcionan estos miles de marcadores con los caracteres de producción y composición de la leche, dando lugar a unas ecuaciones de predicción. Es decir, si conocemos cuál es el efecto al sustituirse un nucleótido por otro, podremos estimar los valores genómicos —un valor numérico— de los individuos y utilizarlos como criterio de selección de futuros reproductores. Todo este proceso no es inmediato y requiere de continua actualización.

Una vez implantada, la principal ventaja de la selección genómica es que aumenta la respuesta a la selección por unidad de tiempo. Los motivos por los que se produce ese aumento son los siguientes:

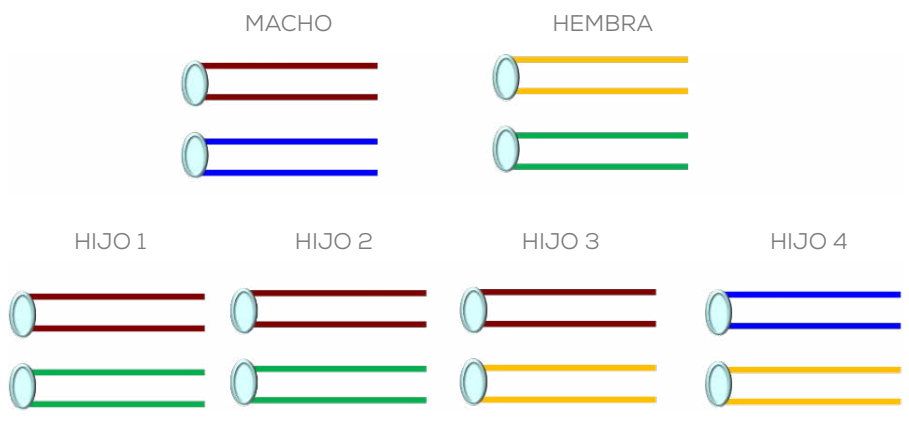
## 1 Reducción del intervalo generacional

Al nacimiento del animal, incluso antes, podremos tomar una muestra de sangre o pelo para extraer su ADN. Una vez extraído, lo genotiparemos y utilizaremos la ecuación de predicción para estimar su valor genómico para los caracteres que nos interesen. Esto nos permitirá estimar, por ejemplo, el valor genómico de la producción de leche para ese individuo que acaba de nacer, ya sea un macho o una hembra, aunque no tengamos datos de sus lactaciones. Podemos reducir así el período entre generaciones.

## 2 Mejora de la fiabilidad en las estimas

La genómica nos permite calcular mejor las relaciones de parentesco aditivas. Por ejemplo, en los programas de mejora clásicos, se asume que dos hijos de la misma pareja tienen el mismo valor de mejora —calculado, según índice de pedigrí, el promedio de sus padres—, porque ambos cabritos hermanos reciben la mitad del genoma de cada uno de sus padres a través de un espermatozoide y un óvulo —cada uno con 30 cromosomas—. Estimamos la relación aditiva entre ellos como del 50 por ciento, es decir que asumimos que los hermanos tienen en común ese porcentaje de los alelos, aunque no siempre es así puesto que pueden no haber recibido el mismo reparto de los genomas de sus progenitores; de hecho, este porcentaje de alelos en común oscila entre 0 y 100 (**Figura 1**). Con la genómica, podemos calcular la relación de parentesco genómica y saber qué fragmentos de cada par de cromosomas de su padre y su madre ha recibido cada cabrito y cuál es la verdadera proporción de alelos compartidos. En la **Figura 1** vemos un ejemplo en el que todos los hijos reciben la mitad del genoma de cada uno de los padres. Sin embargo, los hijos 1 y 2 comparten el cien por cien del ADN; 2 y 3, el 50 por ciento, y 1 y 4 no comparten ADN. El cálculo correcto de estas relaciones de parentesco aditivo gracias a la genómica nos permite aumentar la fiabilidad con la que estimamos los valores genéticos aditivos de los animales, por lo que somos capaces de decidir antes si un macho es genéticamente bueno o malo. Esto a su vez se traduce en un acortamiento del intervalo generacional —tiempo de paso de una generación a la siguiente— y, por lo tanto, en una mejora de la respuesta por año.

**FIGURA 1. RELACIÓN DE PARENTESCO GENÓMICA ENTRE HERMANOS (MODELO SIMPLIFICADO SIN SOBRECruzAMIENTOS)**



### 3

## Intensidad de selección

La genómica nos permite aumentar la intensidad de selección. Combinando las pruebas genómicas con los índices de pedigrí, podemos alcanzar fiabilidades superiores al 60 por ciento. Si tenemos muchos machos genotipados, podemos hacer un fuerte cribado en función de sus valores genómicos para elegir los jóvenes sobresalientes que vayan a enviarse a los centros de inseminación para realizar pruebas de descendencia. De nuevo, con el ejemplo de dos hermanos nacidos del mismo parto, ambos tendrán valores genómicos distintos y, por tanto, podríamos seleccionar desde el nacimiento cuál de ellos sería el candidato para la prueba de descendencia. Al reducirse el número de machos a testar por prueba de descendencia, se reducen también los costes económicos y temporales de las pruebas de progenie.

---

## CONCLUSIONES



En consecuencia, a mayor precisión e intensidad y menor intervalo generacional, más rápida es la respuesta genética a la selección con respecto a los métodos tradicionales. Las ventajas de la selección genómica son aún mayores cuando se trata de seleccionar caracteres difíciles o costosos de medir, o cuando se pretende seleccionar un carácter de baja heredabilidad. El futuro pasa por esta selección genómica para nuevos caracteres, ya que se consiguen animales más eficientes por lo que respecta al consumo de insumos y a las emisiones por litro de leche.

El uso combinado de la selección genómica y la espectrometría, como tecnología de fenotipado de alto rendimiento, ofrece también la oportunidad de ampliar la gama de caracteres que pueden estimarse con mayor precisión en caprino, lo cual favorece potencialmente la mejora de la selección y el rendimiento animal.

Es muy importante que las asociaciones responsables de los programas de cría continúen con su labor, asesorando correctamente a los ganaderos, mejorando la información de los controles lecheros y la calidad de los datos genealógicos verificados con test de paternidad y promoviendo la inseminación artificial como herramienta, tanto para la conexión entre rebaños, como para las pruebas de descendencia y la difusión de semen de los machos mejorantes. La necesidad de los registros de nuevos caracteres se acentúa con las posibilidades que ofrece la selección genómica, puesto que solo se puede seleccionar un carácter cuando existen datos.

Gracias a la financiación del proyecto AGROALNEXT/2022/062, vamos a comenzar a tomar muestras de los animales que, una vez genotipados, formarán parte de nuestra población inicial de referencia de cara a comenzar a implementar un programa de selección genómica en la Comunitat Valenciana. En ello estamos.

---

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el IVIA y cofinanciado por la UE a través del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2021-2027 (IVIA 52201-K, Proyecto AGROALIMVAL), AMURVAL (número de contrato 71714), Universidad Cardenal Herrera-CEU, Universidades CEU (proyecto INDI22/38). También ha recibido financiación del programa AGROALNEXT (AGROALNEXT/2022/062 y AGROALNEXT/2022/063) y el apoyo de MCIN con financiación de la Unión Europea NextGeneration EU (PRTR-C17. I1) y de la Generalitat Valenciana.

### >Autores del artículo:

Ernesto Ángel Gómez<sup>1,5,6</sup>, Eva Mocé<sup>1,5,6</sup>, Cristófol Peris<sup>3,5</sup>, Inés Carolina Esteve<sup>1,6</sup>, Amparo Martínez-Talaván<sup>1,6</sup>, Judith Carmen Miranda-Alejo<sup>1</sup>, Josep Vicent Bernacer<sup>1,6</sup>, Carlos Vicente<sup>3,4</sup>, María del Mar Martínez-Granell<sup>1,6</sup>, María Lorena Mocé<sup>2,6</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Tecnología Animal. Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA); <sup>2</sup>Facultad de Veterinaria. Universidad CEU Cardenal Herrera (UCHCEU); <sup>3</sup>Institut de Ciència i Tecnologia Animal. Universitat Politècnica de València (UPV); <sup>4</sup>Asociación de criadores de caprino de raza Murciano-Granadina de la Comunidad Valenciana (AMURVAL); <sup>5</sup>Unidad Asociada IVIA-UPV; <sup>6</sup>Unidad Asociada IVIA-UCHCEU. gomez\_ern@gva.es