



ÍNDICES COMPUESTOS DE SELECCIÓN EN VACUNO DE CARNE

Juan Altarriba, Luis Varona y Carlos Moreno

Unidad de mejora genética. Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2). Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza. C/Miguel Servet 177. 50013 Zaragoza. Email: altarrib@unizar.es

Resumen

En este artículo se repasa sucintamente la teoría de los índices de selección y de su expresión normalizada, con media y varianza 100, en los caracteres productivos registrados en vacuno de carne. A continuación se amplía el panorama de la selección a través de índices multicarácter (ICO), con objetivo cárnico (ICC) o para vida (ICV) y se aportan estimaciones de los resultados esperados en cada carácter con buenas propiedades genéticas.



Índices de selección (IS)¹

Los índices de selección constituyen la herramienta clave para modificar la estructura genética de una población en la dirección prevista por su plan u objetivo de mejora. Constituyen el criterio básico según el cual se realiza la selección de los padres que van a generar la siguiente generación, eligiendo a los individuos con el mejor caudal genético (valor mejorante), aunque éste no sea directamente observable.

Desde el punto de vista estadístico, cada IS consiste en una estimación (\hat{u}) del valor genético de un animal (u), entendida como una aproximación con determinadas propiedades, respecto a una determinada característica productiva, observable a través del control de producciones. Como toda estimación estadística, la calidad de tal aproximación

depende de la cantidad y tipo de información utilizada en su cálculo y se denomina *precisión*; conceptualmente se trata de la correlación entre u y \hat{u} - $r(u, \hat{u})$ - que oscila entre 0 y 1. Cada \hat{u} se calcula con una determinada precisión; a mayor precisión, menor incertidumbre sobre el verdadero valor genético, y por tanto menor error de estimación, y por tanto mejores resultados de la selección.

Los IS se calculan a través de un análisis genético-estadístico, que permite separar la parte debida a los efectos de los genes que determinan el carácter en consideración, y que por tanto son heredables, de los no genéticos, que llamaremos ambientales, y que por su naturaleza no son heredables. Este proceso de *valoración genética* se realiza a partir de dos tipos de información: por una parte, los datos productivos recogidos mediante el *control* de rendimientos, que son determinados, al menos parcialmente, por la acción de los genes; y por otra, las relaciones de *parentesco* entre los animales, registradas mediante un control *genealógico*. Efectivamente, el parentesco entre los animales con datos productivos registrados y los candidatos a la selección fundamenta el proceso de valoración genética, en base a la correlación entre los valores genéticos de los individuos emparentados, o proporción de genes que comparten en términos medios los parientes; padre-hijo del 50%, medio hermanos (25%), hermanos completos (50%), primos (12,5%), etc. Esta información se combina con un parámetro característico de cada carácter productivo denominado coeficiente de heredabilidad, que expresa la proporción de la variabilidad productiva observada debida a los efectos genéticos aditivos y pondera al parentesco entre individuos con distinta magnitud para cada carácter en el cálculo del IS (Van Vleck, 1993).

El escenario en el cual se toman las decisiones de selección es la propia distribución de los valores genéticos estimados de los candidatos a la selección (Fig. 1), eligiendo como reproductores a los individuos del tope superior en la proporción necesaria - p , tasa de selección-, que son los que están en la parte derecha de la curva. Gracias a que los IS son estimadores insesgados, la media -esperanza, E - de los valores genéticos (u) de los individuos seleccionados es

¹ Con carácter general, en la literatura científica se le denomina *Estimated Breeding Value (EBV)*



igual a la media de los IS de los mismos (\hat{u}). Por tanto $E(u) = E(\hat{u})$, lo que permite predecir la respuesta a la selección a partir de los valores conocidos de \hat{u} , siendo la ausencia de sesgo una propiedad fundamental consustancial a los IS. El valor medio $E(\hat{u})$ depende de dos factores; la proporción de individuos seleccionados (p), que determina la cantidad o intensidad de selección (i), por una parte, y de la amplitud de la campana de los estimadores, que es $\sigma_{\hat{u}}$, la desviación típica de los IS, por otra. Dado que la precisión $r(u, \hat{u})$ de los IS es igual a $\sigma_u / \sigma_{\hat{u}}$, tenemos la clásica ecuación de mejora (Falconer y Mackay, 2006): $E(u) = i \sigma_u = r(u, \hat{u}) \sigma_u$.

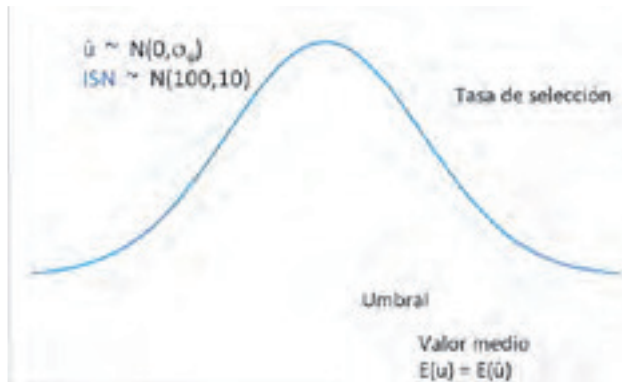


Figura 1.- Esquema del proceso de selección

Luego, en cada carácter, los resultados de la selección dependen de la intensidad de selección (i), entendida como la diferencia entre el valor genético de los padres seleccionados respecto a la media (0) de la población, de la precisión de los IS $r(u, \hat{u})$ y de la **variabilidad genética** (σ_u). A mayor i y $r(u, \hat{u})$, mayores resultados se obtendrán de la selección. Estos resultados también dependen de la variabilidad genética del carácter, pero este parámetro es propio de cada uno de ellos y de la población.

Otro aspecto a destacar de los IS es que se expresan en las unidades propias del carácter, e indican la superioridad/inferioridad genética (+/-) del valor genético de cada individuo, respecto al valor genético medio de la población para un carácter determinado. Por tanto solo son comparables los IS de distintos individuos respecto a un mismo carácter. Ejemplo: sean dos individuos A y B con $\hat{u}_A = +17$ Kg y $\hat{u}_B = -4$ Kg, para el carácter peso al destete. Se estima que A es genéticamente más productivo que B en 21 kg; que A transmitirá en términos medios una superioridad de +8,5 kg al destete a cada uno de sus hijos y B una inferioridad de -2. Estos índices no son comparables a los de otro individuo C con $\hat{u}_C = +23$ Kg del peso de la canal; se trata de caracteres distintos, con distinta escala, e incluso potencialmente con distintas unidades de medición.

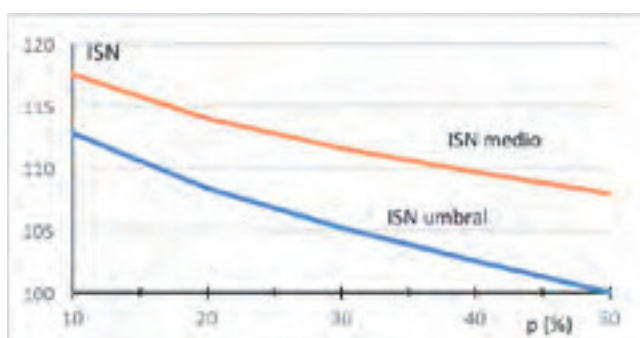


Figura 2.- Relación entre tasa de selección (p), $ISN^{\#}$ umbral e ISN medio
 \$) Índice de selección normalizado: $\hat{u} \sim N(0, \sigma_u) \gg ISN \sim N(100, 10)$

Índices de selección normalizados (ISN)

Para evitar tales inconvenientes, con frecuencia se normalizan los IS de cada carácter a una misma escala y se independizan de las correspondientes unidades métricas, a distribuciones de media y varianza determinadas de antemano; por ejemplo con media y varianza igual a 100 (desviación típica 10), según el siguiente proceder: $ISN = 100 + 10 ((\hat{u} - \text{media}) / \sigma_u)$. De esta forma, la intensidad de la selección realizada en un carácter con un $ISN = 110$ es la misma que la realizada en otro carácter con el mismo ISN . La relación de \hat{u} e ISN es directa en todos los caracteres (a mayor \hat{u} , mayor ISN). En la Fig. 2, se grafica a su vez, la relación entre tasa de la selección (p) a realizar y el valor de corte (ISN umbral) para conseguirla, así como el ISN medio de los animales seleccionados, independientemente del carácter en cuestión. Por otra parte, en la Fig. 3 se observa además la relación entre ISN umbral, con el cual se realiza la selección, y tasa de selección (p), con la evolución de los valores medios en la escala natural propia del carácter (u). El comportamiento de ISN es el mismo que el esperado tomando las decisiones según \hat{u} .

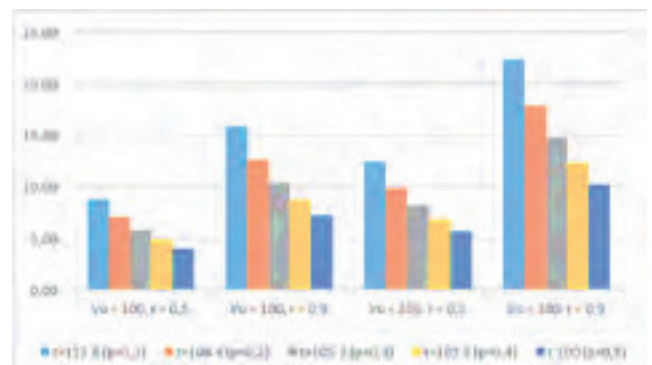


Figura 3.- Respuesta esperada a la selección $E(u)$ según el $ISN^{\#}$ umbral seleccionado t , que corresponde a la tasa de selección p , con distintas variabilidades genéticas $V(u)$ del carácter y precisiones (r) de los \hat{u} .
 &) Índice de selección normalizado: $\hat{u} \sim N(0, \sigma_u) \gg ISN \sim N(100, 10)$

Entonces, los IS entendidos como \hat{u} o como ISN son equivalentes y tienen la misma precisión. Se trata de criterios de selección que informan de forma complementaria la elección de los reproductores más adecuados a cada situación, de manera que es posible seleccionar para cada uno de los caracteres registrados, con la misma o con distintas intensidades, carácter a carácter. Sin embargo, se ha demostrado que esta opción no es óptima (López Fanjul, 1978).

Índices compuestos (ICO)

La opción más eficaz se basa en construir un IS multicarácter, indicando la importancia económica que se quiere dar a cada uno de los caracteres que intervienen en el criterio de selección. Este es el auténtico Índice Compuesto (ICO), que constituye el mejor criterio posible de selección según el objetivo planteado (Hazel, 1943), que expresa el valor económico del animal (€), o el beneficio que es capaz de producir. El factor clave para la construcción de un ICO es el cálculo del beneficio económico producido por una unidad adicional de producto en cada carácter, en su escala original. Esto exige un estudio coste/beneficio



en el escenario futuro en el que se expresará la mejora genética, como CONAFE ha desarrollado en vacuno de leche (Charfeddine y Pérez-Cabal, 2016). Por lo general, en vacuno de carne, tales pesos económicos no han sido investigados en la mayoría de las razas. Resulta difícil definir escenarios realistas que tengan carácter general para la mayoría de los ganaderos.



La solución a este impás, se fundamenta en igualar el objetivo y el criterio de selección, con los mismos caracteres y ponderar los ISN con un coeficiente que determine *a priori* su importancia relativa (b). Estas ponderaciones se pueden establecer por razones técnicas, fisiológicas y genéticas. Además pueden modificarse en función de los resultados y de las expectativas futuras, proporcionando plasticidad al plan de mejora ($\Sigma b=1$). En realidad, cada ganadero puede construir su propio ICO a partir de los ISN de cada carácter aplicando ponderaciones particulares. En este caso, si no se dispone de los resultados completos de la evaluación genética - todos los caracteres (n) en todos los animales de la raza -, puede utilizarse la siguiente aproximación para calcular el ICO de cada individuo i, a partir de los \hat{u} de cada carácter y de su precisión r (u, \hat{u}):

$$ICO_i = 100 + \frac{10}{\sqrt{\sum_j b_j^2}} \sum_j \frac{b_j \hat{u}_j}{r(u_j, \hat{u}_j) \sigma_j}$$

pero exige conocer, al menos aproximadamente, la variabilidad estimada de cada carácter (σ_j).

Sin embargo, aunque mediante este instrumento de selección es posible obtener una mayor respuesta global para el conjunto de los caracteres incluidos en el mismo, la intensidad de selección en cada uno de ellos será menor, cuanto mayor sea el número de caracteres, como se observa en la Fig. 4. De hecho, en este contexto, la respuesta genética obtenida en cada carácter con un IS con n caracteres es solo $1/\sqrt{n}$ veces la respuesta conseguida con un único carácter, como Hazel y Lush anunciaban en 1943 en su formulación del índice clásico de selección. Cuanto mayor es el número de caracteres, menor es la respuesta esperada en cada uno de ellos. Con 4 caracteres la respuesta se reduce a la mitad por carácter y con 10 se reduce al 32% en cada uno. Este es el precio que hay que pagar por seleccionar simultáneamente de forma más amplia. Inevitablemente se produce un reparto del esfuerzo

selectivo global. Por tanto, no es realista plantear ICOs con muchos caracteres; deben intervenir los estrictamente necesarios para alcanzar el objetivo de selección deseado, como parecen olvidar algunas propuestas de valoración de los planes de mejora.

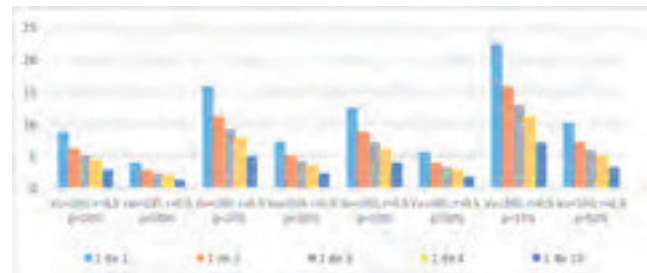


Figura 4.- Respuesta esperada a la selección E(u) en cada carácter con ICOs compuestos por 1, 2, 3, 4 y 10 caracteres, con distinta variabilidad genética V(u), precisión (r) y tasa de selección (p). (Caracteres independientes y con la misma importancia).

La respuesta esperada en cada carácter (j), en su escala natural, a la selección realizada mediante un ICO con n caracteres, es: $E(u_j) = E(\hat{u}_j) = \sigma_{u_j} r(u_j, \hat{u}_j) b_j \sum_k i_k$, siendo $\sum_k i_k = i_{ico} / \sqrt{\sum_k b_k^2}$ la intensidad global de selección para todos los caracteres incluidos en el ICO, donde el término i_k es la intensidad de selección resultante en el carácter k: $i_k = E(u_k) / \sigma_{u_k}$. En el caso que todos los caracteres tengan la misma importancia relativa (b_j) $b_j \sum_k i_k = i_{ico} \sqrt{n} / \sqrt{n} = i_{ico} / \sqrt{n}$ posee una magnitud predecible, siendo i_{ico} la intensidad de selección ejercida mediante el índice de selección; por ejemplo, si la tasa de selección (p) ejercida sobre el ICO es del 50%, la intensidad de selección es $i_{ico} = 0.798$; si $p=10\%$, $i_{ico} = 1.755$ (Falconer y Mackay, 2006).

Como era de esperar, la respuesta genética de cada carácter, depende al igual que en los modelos unicarácter, de la variabilidad genética (σ_{u_j}), de la precisión de los IS $r(u_j, \hat{u}_j)$ y de la intensidad de selección (i_{ico} / \sqrt{n}), modulada en este caso por el término \sqrt{n} descrito por Hazel y Lush en 1943. Luego, la importancia relativa de cada carácter (b_j) interviene en la respuesta esperada ponderando la intensidad de selección global para el conjunto de los caracteres, representada por el término constante $\sum_k i_k$.

Índices compuestos en vacuno de carne

Revisados los aspectos teóricos de los índices compuestos de selección, vamos a ejemplarizar su utilización práctica en el vacuno de carne. En este sentido, en las razas Pirenaica y Rubia gallega se han planteado provisionalmente dos horizontes o destinos del material genético, con su correspondiente ICO:

Producción de carne: $ICC = 0,2 \times (ISN_{PN} + ISN_{des} + ISN_{PC}) + 0,4 ISN_{Con}$

Animales para vida: $ICV = 0,2 \times (ISN_{PN} + ISN_{Con} + ISN_{En}) + 0,4 ISN_{Mat}$

En el primer caso (ICC), prima la conformación de la canal, valorada de forma normalizada a partir del sistema SEUROP de clasificación de canales (Altarriba et al., 2009) con una importancia del 40% y los caracteres cuantitativos



ponderales en vivo (peso al nacimiento, peso al destete) y de la canal (PC), con una importancia relativa del 20% cada uno de ellos (Tabla 1). En otras palabras, se da la misma importancia a una desviación típica genética de los caracteres peso al nacimiento (3,2 Kg), peso al destete (28,3 Kg) y peso canal (26,5 Kg), mientras que en el carácter conformación de la canal se le da el doble de importancia a una desviación típica genética (0,775 puntos SEUROP). En el segundo caso (ICV), se apuesta por el efecto materno estimado a partir del peso al destete o a los 90 días de edad, la conformación (para no reducir este carácter por efecto indirecto de la selección, tan importante en una raza cárnica) y el engrasamiento de la canal, como indicador de la capacidad de almacenar reservas energéticas, especialmente interesante en régimen extensivo. En ambos casos se intenta evitar el incremento indirecto del peso al nacimiento y la incidencia de partos distócicos, a través de una selección en contra de este carácter ponderal (20%). En ambos casos los ICO resultantes se normalizan de nuevo a media y varianza igual a 100 unidades. El proceso se puede expresar mediante el siguiente esquema: $\hat{u} \sim N(0, \sigma_{\hat{u}}) \gg \text{ISN} \sim N(100, 10) \gg \text{ICC}$ o $\text{ICV} \sim N(100, 10)$. La precisión de los ICO es igual a: $\frac{\sum_i r(u_i, \hat{u}_i) b_i^2}{\sum_i b_i^2}$

En la Fig. 5 se han calculado, a efectos meramente ilustrativos, las respuestas genéticas esperadas en cada uno de los caracteres incluidos en ICC e ICV, agrupados en función de su importancia relativa (b) en los índices. Se trata de los resultados teóricos esperados asumiendo que los animales se pueden seleccionar con dos tasas de selección ($p = 0,10$ que se obtiene con $\text{ICO}_{\text{umbral}} = 112,84$ y $p = 0,5$ con $\text{ICO}_{\text{umbral}} = 100$) y que los índices de selección pueden tener dos precisiones: $r(u, \hat{u}) = 0,5$ y $r(u, \hat{u}) = 0,9$. Los valores de esta figura han sido calculados a partir de las varianzas genéticas de los caracteres mostrados de la Tabla 1, tomadas como valores medios redondeados de los estimados en varias razas, con las correspondientes importancias relativas. Evidentemente la aplicación de

estas herramientas exige utilizar en cada caso los valores estimados propios de la raza en consideración.

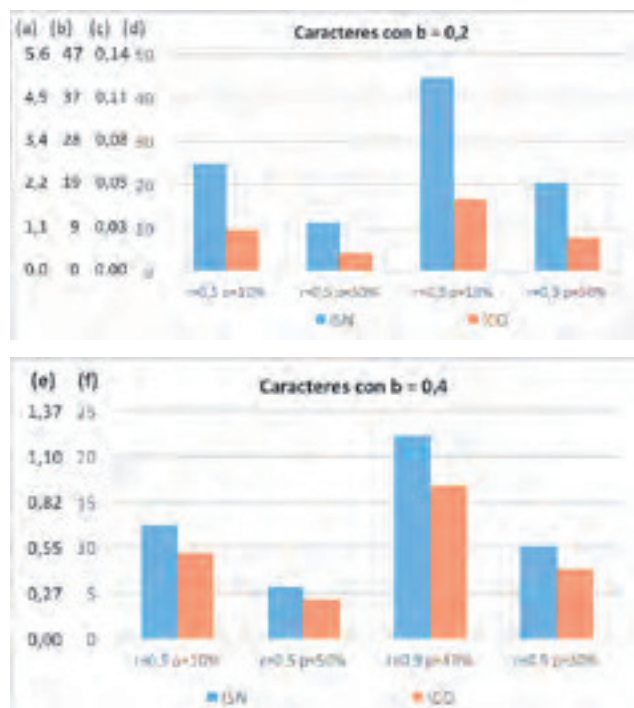


Figura 5.- Respuesta esperada a la selección $E(u)$ de los caracteres incluidos en los ICO de vacuno de carne (ICC[&] e ICV[‡]) descritos en la Tabla 1, respecto a la respuesta esperada por selección directa (ISN), en función de la importancia relativa (b) de cada uno de ellos y en 4 escenarios de selección, caracterizados por una precisión de los índices (r) de 0,5 o de 0,9 y una tasa de selección (p) del 10% o del 50%.

&) ICC : Índice compuesto para carne; ‡) ICV: Índice compuesto para vida; a) Peso al nacimiento (Kg), en realidad $E(u)$ es negativa, ya que el ISN para este carácter se construye en orden inverso (selección negativa) Véase la Tabla 1; b) Peso al destete (kg); c) Peso de la canal (Kg); d) Engrasamiento y conformación de la canal (ICV) (puntos); e) Conformación de la canal (ICC); f) Efecto materno (Kg).

En cuanto a los resultados esperados de la selección, se observa un patrón idéntico en la respuesta de los distintos caracteres incluidos en los ICOs con la misma importancia

Tabla 1.- Parámetros asumidos en la simulación de los resultados esperados de la selección realizada según ICC[&] e ICV[‡] en vacuno de carne.

Carácter		V(u)*	ICC	ICV
PN	P. al nacimiento‡	10 Kg. ²	0,2	0,2
Pdes	P. al destete	800 Kg. ²	0,2	-
PC	P. de la canal	700 Kg. ²	0,2	-
Con	Conformación (SEUROP)	0,6 puntos ²	0,4	0,2
Mat	Efecto materno	200 Kg. ²	-	0,4
En	Engrasamiento canal	0,6 puntos ²	-	0,2

§) ICC : Índice compuesto para carne; &) ICV: Índice compuesto para vida; *) V(u) : varianza genética; ‡) El ISN del peso al nacimiento se construye en orden inverso, para realizar una selección negativa. Los $\hat{u} > 0$ producirán ISN <100 y $\hat{u} < 0$ producirán ISN >100.



(b). Así, el perfil es idéntico en los 5 caracteres que intervienen con $b = 0,2$: peso al nacimiento (ICC e ICV), peso al destete (ICC), peso canal (ICC), conformación (ICC) y engrasamiento de la canal (ICV). Igualmente el perfil es idéntico entre los 2 caracteres que intervienen con $b = 0,4$: conformación de la canal (ICC) y engrasamiento (ICV). La proporcionalidad en las respuestas de los 4 supuestos simulados, entre la selección directa (ISN) y la selección multicarácter, se mantienen constantes para: a) precisión (r) de 0,5 y tasa de selección (p) del 10%; b) $r = 0,5$ y $p = 50\%$; c) $r = 0,9$ y $p = 10\%$; d) $r = 0,9$ y $p = 50\%$. Las respuestas directas (ISN) son 2,65 veces las respuestas mediante ICC e ICV para los caracteres que entran con una importancia relativa de $b = 0,2$, y de la mitad (1.325) cuando entran con $b = 0,4$, como era de esperar. Todo ello es independiente de la variabilidad genética inicial de cada carácter y es consecuencia de las normalizaciones aplicadas; solo depende de la importancia relativa de cada carácter. Lo que si cambia es la escala de cada uno de ellos y la unidad de medida (Kg, puntos). Así vemos que el ratio de las respuestas esperadas ISN/ICO = 2,265 para peso al nacimiento en a): 2,78Kg/1,047Kg; para engrasamiento de la canal (ICV) en b) 0,31puntos/0,12puntos; y para peso al destete en d): 20,31Kg/7,68Kg. El ratio ISN/ICO = 1,325 para conformación de la canal (ICC) en c): 1,124puntos/0,93puntos y para el carácter materno en b): 6,64Kg/4,26Kg. En cualquier caso, las respuestas genéticas a la selección dependen de las variabilidades genéticas, de la precisión de los índices de selección utilizados y de la intensidad de selección resultante del reparto de la tarta genética multicarácter definida por el ICO en función de la importancia relativa asignada a cada carácter y de la tasa de selección aplicada al índice, como hemos visto anteriormente.

Finalmente, es preciso destacar que estas predicciones se han obtenido bajo la asunción de que los caracteres de un mismo ICO son independientes, que no están correlacionados genéticamente. En la práctica, si se desea corregir este efecto, es necesario realizar simultáneamente las evaluaciones de los

caracteres de un mismo ICO mediante modelos multicarácter e introducir la variabilidad entre caracteres.

Conclusión

Los índices de selección obtenidos a partir de la normalización de los resultados de las valoraciones genéticas según la variabilidad mostrada entre animales y con la asignación a cada carácter de una importancia relativa en el objetivo de selección, constituye una solución simple y efectiva en la mejora genética multicarácter del vacuno de carne. Las propiedades de los estimadores de mérito global son las requeridas para garantizar las respuestas genéticas de cada carácter y permite una reformulación rápida para su adaptación a futuras condiciones, incluyendo la posibilidad de que cada ganadería pueda calcular los índices de selección de sus animales.

Agradecimientos

Agradecemos a CONASPI y a ACRUGA su colaboración y análisis de la realidad productiva del vacuno de carne.

Referencias

- Altarriba, J. \boxtimes , Yagüe, G., Moreno, y Varona, L. (2009). *Exploring the possibilities of genetic improvement from traceability data: An example in the Pirenaica beef cattle. Livestock Science, 15: 115-120.*
- Charfeddine, N. y Pérez-Cabal, M.A. (2016). *Pesos económicos para actualizar el ICO. Revista FEAGAS, 39: 54-57.*
- Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C. (2006). *Introducción a la genética cuantitativa. Ed. Acribia.*
- Hazel, L.N. (1943). *The genetic basis for constructing selection indexes. Genetics, 28: 476-490.*
- Hazel, L.N. & Lush, J.L. (1943). *The efficiency of three methods of selection. The Journal of Heredity, 33: 393-399.*
- López Fanjul, C. (1978). *Consideraciones genéticas sobre las pruebas de valoración de toros de razas de aptitud para la producción de carne realizadas en los Centros Nacionales de Selección y Reproducción Animal (CENSYRA). Zootechnia, 27: 195-202.*
- Van Vleck, L.D. 1993. *Selection index and introduction to mixed model methods. C.R.C Press.*

