



Genética cuantitativa: principios de la crianza en la producción pecuaria

Quantitative genetics: principles of farming in livestock production

Núñez-Torres Oscar Patricio , Almeida-Secaira Roberto Ismael



Datos del Artículo

Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Cantón Cevallos – Tungurahua – Ecuador
Casilla postal: 18-01-334
Tel: (593) 032746151 - 032746171

***Dirección de contacto:**
Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Cantón Cevallos – Tungurahua – Ecuador
Casilla postal: 18-01-334
Tel: (593) 032746151 - 032746171

Oscar Patricio Núñez-Torres
E-mail address: op.nunez@uta.edu.ec

Palabras clave:

Apareamientos,
fenotipos,
genes,
métodos,
heredabilidad,
rasgos,
selección,
variabilidad.

J. Selva Andina Anim. Sci.
2022; 9(1):23-36.

ID del artículo: [100/JSAAS/2021](https://doi.org/10.1007/s10073-021-00100-0)

Historial del artículo.

Recibido noviembre 2021.
Devuelto enero 2022.
Aceptado febrero 2022.
Disponible en línea, abril 2022.

Editado por:
**Selva Andina
Research Society**

Keywords:

Mating,
phenotypes,
genes,
methods,
heritability,
traits,
selection,
variability.

Resumen

El objetivo de la investigación fue describir sobre la genética cuantitativa y principios de la crianza en animales destinados a la producción pecuaria. Las características importantes, económicamente hablando, como: la ganancia de peso corporal, la tasa de producción de huevos, leche y carne son tipologías cuantitativas o métricas, rasgos con variabilidad continua. La acción de genes adictivos, tienden a originar una distribución fenotípica normal, entre las medias de dos poblaciones progenitoras, con respecto a los genes multiplicativos crean series geométricas regidas por genes con acción multiplicativa. Además, se debe considerar que el factor más importante en la creación de técnicas de crianza efectiva para optimizar la calidad genética de los animales es la heredabilidad, ya que contienen todos los tipos de acción génica. Además, los métodos paramétricos y no paramétricos nos ofrecen una solución que llega a ser de ayuda o atrayente para las interrogaciones que surgen de la investigación y pruebas de hipótesis que se presenten, también se debe mencionar los modelos que explican la acción de los genes, como es el valor de cría y selección y habilidad de producción. Los productores de animales aplican la selección siguiendo varios criterios paralelamente como métodos de apareamiento (panmixia, endogamia y heterosis). Finalmente aplicar procesos de crianza conllevan a una selección sensata realizando apareamientos con intenciones especiales sin restricciones.

2022. *Journal of the Selva Andina Animal Science*®. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

The objective of the research was to describe quantitative genetics and breeding principles in animals destined for livestock production. Economically important characteristics, such as body weight gain, egg, milk, and meat production rate are quantitative or metric typologies, traits with continuous variability. The action of addictive genes tends to originate a normal phenotypic distribution between the means of two progenitor populations, while multiplicative genes create geometric series governed by genes with multiplicative action. In addition, it should be considered that the most important factor in the creation of effective breeding techniques to optimize the genetic quality of animals is heritability, as they contain all types of gene action. In addition, parametric and non-parametric methods offer us a solution that becomes helpful or appealing to the questions that arise from the research and testing of hypotheses that are presented, we should also mention the models that explain the action of genes, such as breeding value and selection and production ability. Animal producers apply selection following several criteria in parallel as mating methods (panmixia, inbreeding, and heterosis). Finally, the application of breeding processes leads to a sensible selection by mating with special intentions without restrictions.

2021. *Journal of the Selva Andina Animal Science*®. Bolivia. All rights reserved.



Introducción

La genética cuantitativa (GC), una herramienta que permite determinar la importancia relativa del genotipo, y ambiente, en ciertos casos de organismos experimentales es posible separar genotipo y ambiente respecto a sus efectos sobre el fenotipo medido, los ejemplos más notables en genética de las características cuantitativas para el mejoramiento, son producción de leche, peso al nacer, peso del vellón en bovinos, peso al destete, marmóreo entre otros¹. Los caracteres cuantitativos exhiben una distribución continua de fenotipos, no pueden ser analizados del mismo modo que los caracteres controlados por genes mayores. Estos caracteres se describen en términos de parámetros estadísticos, la varianza y media². Todos los factores mencionados son de naturaleza genética, pero existen factores ambientales que afectan a los caracteres cuantitativos. El efecto primario del ambiente, es cambiar el valor para un genotipo en particular, es preciso comparar el rendimiento de éste genotipo en ambientes diferentes y evaluar el efecto ambiente sobre el fenotipo^{3,4}.

La investigación en mejoramiento genético animal en los últimos años tiene gran interés en el estudio de las características de producción. Los programas de mejoramiento animal, en los últimos 50 años se han centrado en el aumento de características de producción, mientras que últimamente se han enfocado hacia otras características, por ejemplo, en ovinos para tipologías de la canal, en cerdos para ganancia diaria de grasa dorsal, porcentaje de carne magra y tamaño de la carnada, en bovinos de carne para fertilidad, vida productiva, condición corporal y consumo de alimento⁵. Las características principalmente estudiadas en el mundo han sido relacionadas con la producción, pero hoy los grandes retos reposan en herramientas de selección, para características secundarias, como fertilidad, longevidad y resistencia a en-

fermedades^{6,7}. Para países en desarrollo, la rapidez de los cambios en los sistemas de producción va acompañados con la pérdida de material genético local o natural, deben considerarse acciones para facilitar la caracterización de esos recursos y usarlos de tal forma que se aprovechen las ventajas de las razas transfronterizas⁸. Los recursos locales o nativos son fundamentales para conservar opciones de mejoras genética futuras, dadas sus ventajas, en ciertas características de interés, una descripción completa de los ambientes de producción en que se despliegan en forma directa para su valoración y balance del comportamiento de razas diferentes⁹. La subsistencia de variabilidad genética en ganadería es importante, fundamentalmente si consideramos posibles cambios a futuro, en parámetros de producción¹⁰. En las últimas décadas hubo incremento importante de publicaciones afines al mantenimiento de recursos genéticos, frecuentemente utilizando equipos de genética molecular, para determinar, clasificar poblaciones¹¹. Las congruencias para aumentar la producción de carne en países en desarrollo, indican que el aspecto más significativo de estudio es contar con ambientes de producción, e identificar genotipos que se adapten mejor en sitios determinados, para mejorar la conducta de los recursos genéticos animales⁷. Del mismo modo, se podían distinguir dos tipos de métodos que se trata de caracteres cuantitativos y los efectos genéticos para identificar una apropiada heredabilidad¹².

Con respecto a modelos que expliquen la acción de los genes como: valor de cría y selección, diferencia de progenie, habilidad de producción, si definiéramos el “mejor” simplemente elegiríamos aquellos individuos con los mejores valores de cría. Sin embargo, en la vida real los verdaderos valores de cría

son desconocidos¹³. En modelos antes vistos, los caracteres que se repiten son descritos en forma de desviaciones buenas o malas, de una media poblacional. Así el promedio de componentes - habilidad de producir - población completa será igual a cero. $BV = GCV = G = Ep = Et = PA = 0$. Los valores $BV - GCV$, Ep y Et serán independientes entre ellos. En el caso del ambiente, la genética del caballo permanecerá en la performance en carrera, haciendo que no muestre ninguna relación en su mérito genético¹⁴.

En la actualidad estudios sobre la GC y principios de la crianza influye directamente en el mejoramiento genético animal, convirtiéndose en un elemento significativo para el conocimiento de profesionales relacionados con la producción pecuaria. Adicionalmente, la investigación ejecutada por los profesores posibilitaría la mejora continua de la educación y su vinculación entre teoría y práctica¹⁵. El estudio y seguimiento de las consecuencias de la actividad científica, a través de sus divulgaciones, es útil para optimar la planificación de la investigación y toma de decisiones en política científica¹⁶. El objetivo principal de este estudio de revisión bibliográfica, fue describir las investigaciones sobre la genética cuantitativa y principios de la crianza en animales destinados a la producción pecuaria.

Desarrollo

Rasgos cuantitativos y cualitativos. La GC es una de las ramas principales de la genética, estudia caracteres que se encuentran controlados por varios genes, a estos caracteres se los conoce como poligénicos, también se puede describir propiedades genéticas en poblaciones¹⁷. Los caracteres poli genéticos son características que se dispersan de manera continua, se refiere a la existencia de muchos genes que ayudan a la expresión de diversas características, también participan elementos del medio ambiente para influenciar

sobre esta expresión. Dentro de la GC, se conoce como varianza genética aditiva (expresión de características particulares, como resultado de todas las expresiones genotípicas) a la intensidad de semejanza o parecido que el descendiente posee de sus padres².

La herencia cuantitativa, una rama de la genética encargada del estudio de la herencia de características fenotípicas/genotípicas medibles. En la producción de animales es importante estimar esta variabilidad de cualidades contables en una población e interpretarla¹⁸. Este grupo de técnicas se emplean para estudiar variaciones en caracteres, ya sean morfológicos, conductuales o fisiológicos. Un claro ejemplo, el tamaño corporal, también un cierto desempeño de locomoción, las conductas de alimentación y ciertos estímulos que existen hacia alguna presa, etc¹⁹. Los objetivos de la GC son: desarrollar modelos válidos para la expresión fenotípica cuando no se identifican los genotipos y los ambientes, desarrollar modelos para describir la dinámica de poblaciones bajo selección natural, artificial y usar este modelo para elegir entre un amplio número de métodos de selección artificial disponibles²⁰.

Cuando el individuo posee un genotipo aportado por varios genes, se lo denomina *poliginia*, y está dentro del modelo aditivo, un gen puede tener un alelo aditivo (A), que contribuye para que exprese una característica, y los no aditivos (a) que no aportan para pronunciarse²¹. Por ejemplo, el tamaño de la canal, peso vivo de un animal o peso post destete, calidad de carne, etc. $P(\text{fenotipo}) = G(\text{genotipo}) + E$ (ambiente). Depende de rasgos de genes y sean independientes del ambiente para su expresión, el fenotipo refleja genotipo y se distribuye en la clase, que son el color de pelaje, presencia o ausencia de astas, algunas enfermedades. En la calidad de carne se toma en cuenta por una apariencia, la composición y características organolépticas²².

También se encarga del conteo de rasgos mirísticos, que son en números enteros, como el número de huevos que pone la gallina en un determinado tiempo, la cantidad de crías de una camada, etc²³. Otras características examinadas son los rasgos de umbral, aquellos con pocos fenotipos y su herencia está establecida por genes múltiples afectados por el entorno, como aquellos rasgos que podrían determinar la supervivencia de una enfermedad. Tiene una distribución discontinua. Ejemplos son mellizos de una vaca o la partenogénesis de pavos, displasia de cadera, ductus arterioso persistente²⁴. Además, el tiempo que se da en el valor óptimo que tienen algunos atributos y son los organolépticos en la que tiene un componente geográfico y cultural elevado.

Los caracteres cualitativos, son aquellos que pueden describirse, como el color, el sexo o la configuración de escamas. Se pueden observar fácilmente, cada individuo pertenece a una diferente categoría, descriptiva y singular. Por ejemplo, si en una población existe peces azules y amarillos, cada uno de éstos pertenecerá a la categoría de peces azules o a su vez de los amarillos. La genética de los caracteres cualitativos no es compleja y se denomina como “genética mendeliana”, en honor de Gregorio Mendel, su descubridor. Estos caracteres están controlados normalmente por uno o dos genes. Las formas alternativas de un carácter (por ejemplo, azul frente a amarillo), son producidas por formas alternativas de un gen (alelo). Con frecuencia, el carácter normal recibe el nombre de carácter “común” o “silvestre”, y a los demás caracteres se les denomina caracteres “mutantes”²⁵.

Pruebas paramétricas en el cálculo de caracteres aditivos. La variación ontogénica, consiste en no tener repeticiones, en diferentes etapas de crecimiento del individuo, es considerada como si no contara con bases genéticas por lo que está dentro de la variación ambiental. La varianza que existen entre individuos

puede considerarse como las diferencias que presentan las familias, por tanto, está dentro de la varianza genética. De ahí, los métodos paramétricos y no paramétricos nos brindan una solución que llega a ser de ayuda o interesante para las preguntas que surgen en la investigación. Los métodos paramétricos ayudan con pruebas de hipótesis que se presenten, a la vez requieren cumplimiento de varios supuestos²⁶.

La acción y efecto de desarrollo de un animal, conocida como ontogenia, da explicación sobre un organismo, y como este se va desarrollando desde el ovulo hasta llegar a la fase adulta, cuando hablamos de desarrollo animal existen ciertas funciones: generar diversidad a nivel celular organizando los tipos celulares y la reproducción para evitar la extinción de la especie. Cuando hablamos de su variación, hace referencia a no realizar los determinados procesos de maduración, además de la dirección al cual será obligado a seguir por algún cambio genético que haya surgido en su ontogenia, pudiendo alterar su proceso ontogénico²⁷. Si el proceso de ontogénesis se ve alterado, suprimido o deformado, aparecerá una variación fenotípica, además, iniciaría un proceso de selección natural. Para generar alguna modificación en el organismo, cuando llegue a su etapa adulta, la evolución deberá hacerse presente y atrofiar el proceso ontogénico. Independientemente de cuál llegue a ser la alteración, esta debe ser accesible para el desarrollo, además de ser producida por la ontogénesis propia del individuo. Si se desea que el cambio evolutivo se produzca, este debe ser ontogénicamente posible. Esto explicaría porque existen rasgos más viables que otros, si tenemos B y cambia a B+ o B-, la viabilidad de B+ dependerá de que en él se dé otra serie de cambios de rasgos de esa manera B- no depende de eso y por ello será más accesible²⁸.

Podemos entender el concepto de fenotipo, puede extenderse a variaciones, por debajo del nivel de los ge-

nes, que afectan a aptitud de un organismo. Comparación de renacuajos consumidos según las 4 categorías de desarrollo, mutaciones silenciosas que no cambian, la secuencia de aminoácidos de un gen, estos pueden transformar la frecuencia de pares de bases guanina-citosina²⁹. Estos pares de bases tienen una mayor estabilidad térmica (punto de fusión) que los pares adenina-timina, esta propiedad puede transmitirse entre los organismos que viven en ambientes de alta temperatura.

Modelos que explican la acción de los genes

Valor de cría y selección. En la selección de caracteres, el criador tiene el objetivo de identificar y seleccionar genotipos más propicios en cada individuo. En el caso de selección de más de un carácter, usa el mismo principio, en este caso el diferenciar los genotipos termina siendo una tarea imposible, en esta situación el criador identifica el valor genético del individuo³⁰.

El valor fenotípico trata de un registro acerca de la performance de cada individuo, sobre un rasgo específico. Por otro lado, el valor genético hace relación a los efectos generados por los genes del individuo, en su performance. También cabe señalar el valor fenotípico, este a diferencia a los anteriores, no se mide directamente. Los efectos ambientales que engloban factores no genéticos que actúan sobre la performance del individuo para un carácter⁴. Durante la selección de individuos se intenta ver por el individuo con mayor valor de cría. Este valor es señalado como el valor de padre. Pero no solo se toma en cuenta el valor fenotípico del individuo, tampoco señala el valor genotípico, ya que este enmarca efectos generales. El valor de cría hace referencia a la parte heredable del individuo para la siguiente generación³¹.

Habilidad de producción. Para la producción comercial es importante conocer la habilidad de producción, es así que, si la alimentación se basará dependiendo de su habilidad de producción. Para cada vaca

se calcula partiendo de antecedentes de performance. El MMPPA (Habilidades producción más probables) al ser sumada a la media poblacional para un carácter, será un pronóstico para el siguiente registro³².

Modelo genético y los caracteres umbral. Son características poligénicas que no serán continuas al momento de su expresión, pero exponen fenotipos categóricos. Por ejemplo, la fertilidad que se cree es influida por muchos genes, pero no será común de caracteres poligénicos, sino de un carácter umbral³³. Los caracteres umbral, como los cuantitativos poligénicos, no serán muy diferentes, pero la diferencia resalta en los fenotipos, no serán expresados a una escala continua en los caracteres umbral y eso crea una serie de problemas. Debemos pensar como si tuviésemos la escala constante subyacente, el umbral será considerado el sitio en una escala de asignación subyacente por arriba, exigiendo fenotipos y por debajo de ella otros³³.

Importancia de la heredabilidad de los caracteres. El cálculo de la h^2 es de gran importancia en el valor genético de los reproductores y en la predicción de la respuesta de selección³⁴, la heredabilidad es un parámetro genético propio de una población, dada en un momento determinado, lo que quiere decir que ésta varía de población en población, y es fundamental para la definición de los métodos de selección, además estima la relación entre el genotipo y el fenotipo³⁵. La heredabilidad puede ser comprendida como la relación existente entre los valores fenotípicos, y los valores de cría para determinar el carácter que se halla en una población. Las variaciones que existen entre individuos son debidas a la influencia de factores genéticos y ambientales. El valor de heredabilidad está encargada de dar a conocer el grado en el que un rasgo se ve afectado por causas genéticas o ambientales³⁶.

La importancia de la heredabilidad radica en que se la utiliza para la investigación genética. Existe mucha

curiosidad por conocer las diferentes características fenotípicas, sus causas, consecuencias y cómo es posible la transmisión de generación en generación. También hay que añadir, que determina el ritmo con el que surgen estos cambios dentro de la población, su evolución, y respuesta a la selección natural³⁷. Uno de los elementos más importantes, en la formulación de planes de crianza efectiva para mejorar la calidad genética es la heredabilidad. Si se ha determinado dicha heredabilidad, en sentido estricto h^2 , este de un carácter, y sabemos ciertos de los valores de población entonces se podrá estimar este valor fenotípico de dicha descendencia. Se puede hablar de la heredabilidad como una variación fenotípica que tiene un origen en la genética aditiva, y para ubicarnos en un rango se pueden tomar valores entre 0 a 1, entonces se podrá estimar que, si dicha variación proviene de origen genético, entonces su descendencia tendrá mayores características fenotípicas de sus padres y la heredabilidad tendrá valores cercanos a 1³⁸. Por otro lado, Manjarrez Silva²¹, menciona que si este proviene de origen ambiental sus valores se estiman en 0.

Utilidad de la heredabilidad. Ayuda a predecir la respuesta dada a la selección, la magnitud con una relación directamente proporcional con su progreso genético, planificar otro tipo de apareamiento. Por lo que si el nivel de heterosis aumenta la intensidad de la heredabilidad en dicha característica también aumentará³⁹.

Heredabilidad en sentido amplio. Representa la proporción de la varianza fenotípica reaccionada con la varianza genotípica determinadas por las siguientes letras VG/VP. Es decir, como las diferencias en el fenotipo que estamos observando se relacionan con diferencias en los genotipos⁴⁰. Por el contrario, si tenemos una heredabilidad en sentido amplio alta, quiere decir que el efecto del ambiente sobre la variación es

relativamente pequeño, y además hay diferencias genéticas en la población⁴¹. Según Lineros Fuentealba⁴², menciona que, estas proporciones es medida mediante la varianza (varianza fenotípica total), esta se determina por una varianza de genética aditiva. Este determina las propiedades genéticas desde el punto de población, cabe mencionar, que este también cumple la función de determinante en la tasa que ocurre un cambio en el carácter de una población, esto como respuestas a dicha selección⁴³.

Métodos de selección de cruce

Métodos de apareamientos, (panmixia, endogamia y heterosis). En la práctica, selección, raras veces se hace con base en una sola característica. Los reproductores de animales suelen practicar la selección siguiendo varios criterios simultáneamente. Sin embargo, cuantos más caracteres seleccionados haya menor es la presión de selección, que puede ejercerse sobre cada carácter. Por tanto, la selección debe limitarse a los dos o tres caracteres que el reproductor considere que sean los más importantes económicamente⁴⁴.

Los métodos empleados para determinar un índice, pueden ser muy diversos, pero generalmente todos suelen considerar la heredabilidad y la relativa importancia económica de cada carácter, además de las correlaciones genética y fenotípica entre los caracteres, un índice para tres caracteres puede tener la forma general⁴⁴. Donde X es el registro de la eficiencia o rendimiento llevado a cabo por un individuo, \bar{X} es la eficiencia o rendimiento promedio de la población y σ_X , es la desviación estándar del carácter. En la comparación de diferentes caracteres, uno se enfrenta al hecho de que la media y la variabilidad de cada carácter es diferente y a menudo no son expresados en las mismas unidades⁴⁵. Sin embargo, la variable estandarizada es un número abstracto (es decir, independiente de las unidades utilizadas) basado

en la media y desviación estándar. Por tanto, cualquier producción registrada o calificada de naturaleza cuantitativa puede agregarse a cualquier otro carácter si se expresa de forma estandarizada⁴⁶.

También conocido como selección de parentesco, hace énfasis en los cambios de las frecuencias genéticas, por medio de las generaciones y esto se debe a que ha existido algún tipo de interacción entre individuos de la misma familia. Por ejemplo, si en un gen existe un crecimiento en las aptitudes de los parientes, pero a su vez baja el nivel de aptitud individual que lleva el gen puede igualmente subir su frecuencia y esto se debe a que los familiares usualmente son portadores de genes iguales. En caso de que exista una mejora con la aptitud de los parientes, es porque algunas veces se debe compensar la pérdida de aptitud que pasan los sujetos que tengan presente este carácter⁴⁷.

Si se tiene planeado subir de calidad, con respecto al aprovechamiento de la canal o disminuir la grasa presente en las vísceras, se debe sacrificar al animal, en este caso los peces, para poder tener un control de medidas precisas. Cuando ya se encuentra muerto el animal, obviamente no podrá aparearse, pero para mejorar esas características se debe hacer uso de la selección familiar⁴³.

Bravo Gil⁴⁸, menciona que, si queremos verificar que un animal macho produjo una buena descendencia, debemos observar su progenie, a la cual fue transmitida esos genes, como ejemplo tenemos, que apareamos cierta cantidad de toros con aproximadamente veinticinco vacas y comprobaremos la descendencia de un toro con respecto a los hijos de los otros toros⁴⁶. El toro que haya logrado producir una mejor descendencia en un grupo determinado de vacas frente a una característica reproductiva será el toro con mejor genotipo.

La panmixia. En genética es un patrón particular de intercambio reproductivo en el cual cada individuo

de un sexo se aparee con el del sexo opuesto al azar con una preferencia fenotípica y genotípica⁴⁹⁻⁵⁰. En si la *panmixia* se trata de un apareamiento improvisado donde en una población que es *panmictica* no va a existir limitaciones al momento de aparearse, tampoco de su genética y aún peor de su comportamiento, esto quiere decir en pocas palabras que cualquier recombinación va a ser factible y posible, el apareamiento se da libre de preferencias físicas, sociales, así también como genéticas, por lo que no interviene en si el medio ambiente, el apareamiento se da por medio de un principio que es el de Hardy-Weinber donde la posibilidad en que un sujeto se aparee con otro que sea X será equivalente a la frecuencia de X en cierta población⁵¹.

La endogamia. Es la reproducción entre individuos que se encuentran relacionados genéticamente, es decir los animales se aparean con miembros de la misma familia. Como un ejemplo, en una manada un macho se cruza con sus hijas o sus hermanas. La endogamia se determina como la condición homocigótica de genes que se encuentran en un mismo sitio cromosómico, presenta un beneficio en el mejoramiento genético de animales y plantas, donde la conducción controlada de los apareamientos entre individuos asigna líneas endogámicas homogéneas que son diferentes entre sí incrementando las posibilidades de que la descendencia se vea afectada por rasgos recesivos⁵². Como consecuencia de esta reproducción es la depresión endogámica, la cual aparece por el apareamiento de individuos emparentados provocando una pérdida de aptitud biológica, la base genética de este fenómeno se vincula a la consanguinidad que se produce en la descendencia de sus progenitores, teniendo en cuenta que pueden ser uno o más ancestros, las especies ganaderas presentan efectos en su producción y reproducción⁵³. Dentro de las ventajas de la endogamia, siendo un sistema de producción, el resultado de las características de la progenie

será muy parecida a la de sus antecesores, a pesar de que la endogamia puede generar vulnerabilidad a enfermedades, también puede aumentar la protección de alelos deletéreos, estos últimos son alelos que poseen genes causantes de la muerte, debido que al mutar provocan un gen letal llamado gen esencial⁵⁴. La principal desventaja de la endogamia en los animales de producción se ve reflejada en sus propiedades reproductivas, por las características fisiológicas de los órganos reproductores se degradan, haciendo que estos individuos se reproduzcan con mayor dificultad⁵⁵. *Tipos de Heterosis. Individual*: tiene superioridad del individuo F1 porque es híbrido. Es la diferencia percibida en la progenie cruce correspondiente al promedio de sus padres de raza pura. Además, es la desviación de la suma de las medias de los cruzamientos recíprocos a la suma de las dos medias parentales y en el caso de la F1 es regularmente máximo. *Materna*: tiene superioridad del individuo F1 porque su madre es híbrida. Es la que es percibida por el empleo de madres heterocigotos. También es el resultado de un buen cuidado como consecuencia del desempeño superior de las hembras F1, pero será mucho mayor en cuanto al grado si la cría es el descendiente de un cruzamiento exogámico. *Paterna*: tiene superioridad del individuo F1 debido al padre puro no vinculado con la hembra. Afecta notoriamente a la libido y a los caracteres de producción de semen. Se emplean en zonas donde no podrían comportarse los machos puros⁵⁶.

Base genética de la heterosis. La sobre dominancia existirá cuando $Aa \geq AA$ ó aa , siendo Aa el heterocigoto y AA y aa los homocigotos de los genes involucrados en el carácter. Hipótesis general de dominancia teóricamente podría ser posible fijar la superioridad de una línea haciendo que todos los individuos de esa línea sean homocigotas dominantes para todos los pares de genes⁵⁷. La medida de la heterosis es

muy simple, generalmente se expresa como el porcentaje del incremento o decremento en el comportamiento de un híbrido en comparación con un genotipo referencia o un parámetro⁵⁸.

Discusión

La GC desarrolla formas válidas para la expresión fenotípica cuando no se identifican los genotipos y los ambientes, desarrollar modelos para describir la dinámica de las poblaciones bajo selección natural, artificial y usar este modelo para elegir entre el amplio número de métodos de selección artificial disponibles²⁰. Características importantes económicamente departiendo como los rasgos cualitativos y los cuantitativos como: ganancias de peso, producción de huevos o leche, son características métricas, se atribuyen el número de genes que contribuyen a la variabilidad fenotípica y el grado en que se puede modificar el fenotipo por factores ambientales, y se menciona sobre los rasgos merísticos que son en números enteros como el número de huevos que pone la gallina en un determinado tiempo, la cantidad de crías de una camada²³. Por otro lado, Noguera¹⁸, manifiesta que la herencia cuantitativa es una rama de la genética que se encarga del estudio de la herencia de características fenotípicas/genotípicas medibles. Cuando se estudia rasgos continuos, refiriéndonos a las características fenotípicas influenciadas por el medio ambiente.

La semejanza entre padres y progenie se le conoce en un margen de la terminología genetista tal cual, como la varianza genética aditiva, Hartl & Jones⁴, mencionan que los efectos ambientales que engloban factores no génicos que actúan sobre la performance del individuo para un carácter. Notivol²⁰, describe como la dinámica de las poblaciones bajo selección natural y artificial y usar este modelo para elegir entre el am-

plio número de métodos de selección artificial disponibles. Salas et al.²⁶ manifiestan que los métodos paramétricos ayudan con las pruebas de hipótesis que se presenten, a la vez que requiere el cumplimiento de varios supuestos. En el caso de la selección de más de un carácter usa el mismo principio, se diferencia los genotipos termina siendo una tarea imposible, en esta situación el criador identifica el valor génico del individuo⁵⁹.

Uno de los factores más importantes en la formulación de planes de crianza para mejorar la calidad genética es la heredabilidad, Saliba et al.³⁸, definen como una variación fenotípica que tiene un origen en la genética aditiva, y para ubicarnos en un rango se pueden tomar valores entre 0 a 1, entonces se podrá estimar que si dicha variación proviene de origen genético entonces su descendencia tendrá mayores características fenotípicas de sus padres y la heredabilidad tendrá valores cercanos a 1. Por otro lado, se menciona que si este proviene de origen ambiental sus valores se estiman en 0²¹. Asimismo, los índices pueden ser muy diversos, pero generalmente todos suelen considerar la heredabilidad y la relativa importancia económica de cada carácter, además de las correlaciones genética y fenotípica entre los caracteres, un índice para tres caracteres puede tener la forma general⁴⁵. De la misma manera ayuda a predecir la respuesta dada a la selección. La magnitud con una relación directamente proporcional con su progreso genético, planificar otro tipo de apareamiento. Por lo que si el nivel de heterosis aumenta la intensidad de la heredabilidad en dicha característica también aumentará⁴⁰.

Conclusión

La valoración de características investigadas, como las discretas están bajo control genético de uno o uno

o varios genes con escasa o ninguna alteración ambiental que oculte sus efectos. A diferencia con esto, la variabilidad expuesta por muchos caracteres importantes que no se ajustan a clases fenotípicas separadas (variabilidad discontinua), sino que forman un aspecto de fenotipos que cambian imperceptiblemente de un tipo a otro (variabilidad continua). Los rasgos cuantitativos pueden estar gobernados por muchos genes cada uno de ellos contribuyendo con una pequeña cantidad al fenotipo de tal manera que sus efectos individuales no pueden ser detectados por métodos mendelianos. La heredabilidad es considerada como un factor importante en la formulación de procedimientos de crianza efectiva para optimizar la calidad genética de los animales el conocimiento de la contribución relativa que hacen a la variabilidad de los genes de un rasgo bajo consideración. La variabilidad de los valores fenotípicos para un rasgo cuantitativo puede ser disgregada en sus componentes genéticos y ambientales.

Determinando de este modo que las técnicas de crianza conllevan a una selección reflexiva efectuando apareamientos con propósitos especiales sin limitaciones. Es claro que en la GC existen diversos métodos para el valor de los parámetros genéticos ya que se toma en cuenta los caracteres que se encuentran controlados con los genes para las poblaciones existentes. La GC además de ser de suma importancia en el estudio de caracteres sirve también para realizar análisis estadísticos y calcular las variaciones en la clasificación de fenotipos.

Fuente de financiamiento

Este estudio fue financiado por la Universidad Técnica de Ambato (horas en el distributivo de trabajo).

Conflictos de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.

Consideraciones éticas

La investigación cumplió con las normas éticas del proceso de información.

Aporte de los autores en el artículo

Los autores realizaron el levantamiento de la información y recopilación bibliográfica, así como revisión y redacción del artículo final.

Literatura citada

1. Tirados SP. La mejora genética animal en la segunda mitad del siglo XX. *Arch Zootec* 2001;50 (192):517-46.
2. Falconer DS. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. 3ra Edición. Nueva York: Longman Scientific and Technical; 1989.
3. Forsman A. Effects of genotypic and phenotypic variation on establishment are important for conservation, invasion, and infection biology. *Proc Natl Acad Sci USA* 2014;111(1):302-7. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1317745111>
4. Hartl D, Jones E. *Genética Cuantitativa* [Internet]. Burlington: Jones & Bartlett Learning; 1997 [citado 22 de octubre de 2021]. Recuperado a partir de: <http://uvigen.fcien.edu.uy/utem/gencuan/Gen%E9tica%20cuantitativa.pdf>
5. Toro MA. Achievements of research in the field of animal breeding and selection. In: Rosati A, Te wolde A, Mosconi C, editors. *Animal production and animal science worldwide* [Internet]. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers; 2005. p. 37-48. Recuperado a partir de: https://books.google.com.bo/books/about/Animal_production_and_animal_science_wor.html?id=0_3CegomgG4C&redir_esc=y
6. Misztal I. Shortage of quantitative geneticists in animal breeding. *J Anim Breed Genet* 2007; 124 (5):255-6. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.14390388.2007.00679.x>
7. Scholtz MM, McManus C, Okeyo AM, Theunissen A. Opportunities for beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Livest Sci* 2011;142(1-3):195-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.07.014>
8. Rege JEO, Marshall K, Notenbaert A, Ojango JMK, Okeyo AM. Pro-poor animal improvement and breeding-What can science do?. *Livest Sci* 2011;136(1):15-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.09.003>
9. Groeneveld LF, Lenstra JA, Eding H, Toro MA, Scherf B, Pilling D, et al. Genetic diversity in farm animals-a review. *Anim Genet* 2010;41(Suppl 1): 6-31. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02038.x>
10. Boettcher PJ, Tixier-Boichard M, Toro MA, Simianer H, Eding H, Gandini G, et al. Objectives, criteria and methods for using molecular genetic data in priority setting for conservation of animal genetic resources. *Anim Genet* 2010;41(Suppl 1):64-

77. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02050.x>
11. Hohenboken WD. ASAS Centennial Paper: Animal breeding research and the Journal of Animal Science: A century of co-evolution. *J Anim Sci* 2009;87(1):390-9. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1306>
12. Blasco A. Apuntes de Genética Cuantitativa [Internet]. Valencia: Universitat Politècnica de València; 2010 [citado 22 de octubre de 2021]. 112 p. Recuperado a partir de: <https://www.mastergr.upv.es/Asignaturas/Apuntes/06.%20Cuantitativa%201/Libro%20cuantitativa.pdf>
13. Tave D. Programas de cría selectiva sencillos para aumentar la tasa de crecimiento y mejorar otros caracteres cuantitativos. En: Tave D, editor. Programas de cría selectiva para piscifactorías de tamaño medio [Internet]. Oregón: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 1996. Recuperado a partir de: <https://www.fao.org/3/v8720s/V8720S00.htm#T OC>
14. Ordás López B, Malvar Pintos RA. Métodos clásicos de análisis de caracteres cuantitativos [Internet]. Pontevedra: Misión Biológica de Galicia; 2012 [citado 22 de octubre de 2021]. 53 p. Recuperado a partir de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/167020/1/Ordas_Metodos_clasicos..pdf
15. Romera-Iruela MJ. La investigación-acción en la formación del profesorado. *Rev Esp Doc Cient* 2011;34(4):597-614. DOI: <https://doi.org/10.3989/redc.2011.4.836>
16. Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española 2010 [Internet]. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. 2013 [citado 5 de marzo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/indicadores-bibliometricos-de-la-actividad-cientifica-espanola-2010-publicacion-2013>
17. Sosa Reyes B. Evolución de las estrategias de mejoramiento genético aplicado al ganado bovino [Internet]. *Ergomix*. 2011 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.ergomix.com/ganaderia-carne/articulos/mejoramiento-genetico-bovino-t28872.htm>
18. Noguera JL. Mejora genética de los caracteres reproductivos en el porcino. *SUIS* [Internet]. 2001 [citado 5 de octubre de 2021];(78):22-32. Recuperado a partir de: <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/mejorageneticadeloscaracteresreproductivos.pdf>
19. Brodie ED. Genetic correlations between morphology and antipredator behaviour in natural populations of the garter snake *Thamnophis ordinoides*. *Nature* 1989;342:542-3. DOI: <https://doi.org/10.1038/342542a0>
20. Notivol E. Genética cuantitativa [Internet]. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. 2016 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: http://www.aecidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/6.Genetica_cuantitativa.pdf
21. Manjarrez Silva J. Selección natural, genética cuantitativa y evolución en culebras. *Ciencia Ergo Sum* 2001;8(1):56-61.
22. Calidad de la carne de cerdo [Internet]. Universo porcino. 2012 [citado 5 de septiembre de 2021]. Recuperado a partir de: http://www.universoporcino.com/articulos/carne_porcina_calidad_de_la_carne_de_cerdo.html
23. Ramírez-Valverde R, Núñez-Domínguez R, Fabián-Barrios E. Caracterización de las publicaciones sobre mejoramiento genético animal en revistas científicas mexicanas. *Ecosistemas y Recur Agropecuarios* 2014;1(1):59-71.
24. Conte A, Marrube G, Pinto G, Robledo G, Rozen F. Bases para el diagnóstico de las enfermedades hereditarias en los animales domésticos [Internet].

- Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires; 2004 [citado 22 de octubre de 2021]. 56 p. Recuperado a partir de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/16403423/bases-para-el-diagnostico-de-las-enfermedades-hereditarias-en-los->
25. Costea M, Brenner DM, Tardif FJ, Tan YF, Sun M. Delimitation of *Amaranthus cruentus* L. and *Amaranthus caudatus* L. using micromorphology and AFLP analysis: an application in germplasm identification. *Genet Resour Crop Evol* 2006;53:1625-33. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-005-2288-3>
26. Salas C, Ene L, Ojeda N, Soto H. Métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos para predecir variables de rodal basados en Landsat ETM+: una comparación en un bosque de Araucaria araucana en Chile. *Bosque (Valdivia)* 2010;31(3):179-94. DOI: <http://doi.org/10.4067/S0717-92002010000300002>
27. Caponi G. Selección interna: el control de la filogenia por la ontogenia en una perspectiva variacional. *Theoria* 2008;23(2):195-218. DOI: <https://doi.org/10.1387/theoria.395>
28. Caponi G. El retorno de la ontogenia: un conflicto de ideales de orden natural en la biología evolucionaria actual. *Sci Stud* 2007;5(1):9-34. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3166200700010002>
29. Briceño K. Qué son las variaciones fenotípicas [Internet]. *Lifeder*. 2021 [citado 3 de octubre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.lifeder.com/variaciones-fenotipicas/>
30. Barbadilla A. Herencia Cuantitativa [Internet]. *Genética*. 2021 [citado 3 de octubre de 2021]. Recuperado a partir de: http://bioinformatica.uab.es/base/documents/genetica_gen/Tema%209%20Herencia%20cuantitativa2015_4_30D11_49.pdf
31. Genghini R, Bonvillani A, Wittouck P, Echevarría A. Introducción al mejoramiento animal [Internet]. *Sitio Argentino de Producción Animal*. 2002 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.produccion-animal.com.ar/genetica-seleccion-cruzamientos/genetica-en-general/05-introduccion-al-mejoramiento-animal.pdf>
32. Pinto-Escalante D, Ceballos-Quintal JM, Castillo-Zapata I, López-Avila MTJ. Fundamentos y actualidades del asesoramiento genético. *Rev Biomed* 2001;12(3):186-95.
33. López Santillán IC, Figueroa Gutiérrez AH. Estudio de la herencia poligénica [Internet]. *Reportes de investigación o prácticas*. 2017 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icsa/n4/p1.html>
34. Montes D, Vergara O, Barragán W. Diferencia esperada de progenie como herramienta de selección para peso al destete en ganado Brahman. *Rev MVZ Córdoba* 2011;16(1):2381-90. DOI: <https://doi.org/10.21897/RMVZ.297>
35. Ossa G, Suárez Tronco M, Pérez J. Efectos del medio y la herencia sobre el peso al destete de terneros de la raza Romosinuano. *Rev MVZ Córdoba* 2005;10(2):673-83. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.471>
36. Martínez-González JC, Castillo-Rodríguez SP, Lucero-Magana FA, Ortega-Rivas E. Influencias ambientales y heredabilidad para características de crecimiento en ganado Sardo Negro en México. *Zootecnia Trop* 2007;25(1):1-7.
37. Téllez Barragán MC. Estudio de la heredabilidad en la Queiloscopia. *Revista de La Escuela de Medicina Legal* 2011;0(17):32-44. DOI: https://doi.org/10.5209/rev_reml.2011.v17.36233
38. Saliba A, Figueiredo ACV, Baroneza JE, Afiune JY, Pic-Taylor A, Oliveira SF, et al. Genetic and

- genomics in congenital heart disease: a clinical review. *J Pediatr (Rio J)* 2020;96(3):279-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2019.07.004>
39. Ríos-Utrera Á, Hernández-Hernández VD, Villagómez Amezcua-Manjarréz E, Zárate-Martínez JP. Heredabilidad de características reproductivas de Vacas InduBrasil. *Agron Mesoam* 2013;24(2): 293-300. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v24i2.12529>
40. Pistorale SM, Abbott LA, Andrés A. Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum* *Cienc Inv Agr* 2008;35(3):259-64. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-16202008000300003>
41. Herrera Martínez M, Fernández Caraballo D, Estrada López K, Yera Vázquez M, Chaviano Machado S, Pérez Rodríguez LM, et al. Heredabilidad del fenotipo longevo en familias de excepcional larga vida, procedentes de Villa Clara. *Medicentro Electrónica* 2017;21(2):127-38.
42. Lineros Fuentealba YA. Heredabilidad del largo de internudo en un ensayo de progenie de polinización abierta de uninodales de *Pinus radiata*. Valdivia: Universidad Austral de Chile; 2006.
43. Vergara Garay OD, Martínez Humanes N, Flórez Murillo JM, Hernández Pérez M, Almanza Loaiza R, Rúgeles Pinto C, et al. Heredabilidades, correlaciones y tendencias genéticas para características reproductivas en una población bovina multi-racial en Colombia. *Ces Med Vet Zootec* 2015;10(1):8-17.
44. van Arendonk JAM, Bijma P. Factors affecting commercial application of embryo technologies in dairy cattle in Europe a modelling approach. *Theorigenology* 2003;59(2):635-49. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(02\)01245-1](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(02)01245-1)
45. Willis MB. Dalton's introduction to practical animal breeding. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1991. p. 166.
46. Glenn T. Principles of genetics. Amsterdam: Wageningen Academic Publishers; 2002.
47. Tave D. La selección de caracteres cuantitativos. En: Tave D, editor. Programas de cría selectiva para piscifactorías de tamaño medio [Internet]. Oregón: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 1996. Recuperado a partir de: <https://www.fao.org/3/v8720s/V8720S00.htm#TOC>
48. Bravo Gil A. Selección de pie de cría [Internet]. Bogotá: División de Formación a Distancia; 1985 [citado 22 de octubre de 2021]. 42 p. Recuperado a partir de: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/483/12/vol3_seleccion_pie_cria_op.pdf
49. Alors D, Dal Grande F, Cubas P, Crespo A, Schmitt I, Molina CM, et al. Panmixia and Dispersal from the Mediterranean Basin to Macaronesian Islands of a Macrolichen Species. Frankfurt: Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg; 2017.
50. Curtis H, Barnes NS, Schnek A, Massarini A. Biología [Internet]. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana; 2008 [citado 22 de octubre de 2021]. 1160 p. Recuperado a partir de: <https://books.google.com.ec/books?id=mGadUVpd-TLsC&pg=PA355&dq=panmixia&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiz7cag-penqAhXnc98KHcIYA9EQ6AEwA-HoECAAQAg#v=onepage&q=panmixia&f=false>
51. Kalmes R, Huret JL. Modelo de Hardy-Weinberg [Internet]. Atlas of Genetics and Cytogenetics in Oncology and Haematology. 2001 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: [http://atlasgeneticsoncology.org/Educ/HardySp.html#:~:text=El%20equilibrio%20de%20Hardy%2DWeinberg%20es%20un%20modelo%20te%C3%B3rico%20para,al%20azar%2C%20\(panmixia\)](http://atlasgeneticsoncology.org/Educ/HardySp.html#:~:text=El%20equilibrio%20de%20Hardy%2DWeinberg%20es%20un%20modelo%20te%C3%B3rico%20para,al%20azar%2C%20(panmixia))

52. Aguirre-Valverde J, Vargas-Leitón B, Romero-Zúñiga JJ. Efectos de la endogamia sobre parámetros Reproductivos en vacas holstein y jersey de Costa Rica. *Agron Mesoam* 2013;24(2):245-55. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v24i2.12523>
53. Escorcia-Gutiérrez N, Molina-Galán JD, Castillo-González F, Mejía-Contreras JA. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. *Rev Fitotec Mex* 2010;33(3):271-9. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.3.271>
54. Definición de deletéreo [Internet]. Definición de. 2008 [citado 5 de marzo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://definicion.de/deletereo/#:~:text=Estos%20genes%20se%20presentan%20en,se%20conoce%20como%20gen%20esencial>
55. Ocampo GR, Cardona CH. La endogamia en la producción animal. *Rev Colombiana Cienc Anim* 2013;5(1):463-79. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v5.n2.2013.458>
56. Walters R. Heterosis (vigor híbrido) y consanguinidad [Internet]. 3tres3.com. 2015 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: https://www.3tres3.com/articulos/heterosis-vigor-hibrido-y-consanguinidad_35039/
57. Bueno Pérez JA. Cruzamientos [Internet]. Ergomix. 2018 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/buenovet-cruzamientos-t42274.htm>
58. Lagos TC, Criollo H, Checa O. Divergencia genética y heterosis. *Rev Cienc Agríc* 2003;20(1-2):10-26.
59. Barbadilla A. Genética de poblaciones [Internet]. Genética. 2015 [citado 3 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: <http://bioinformatica.uab.es/base/base3.asp?sitio=geneticapoblaciones&anar=concep&item=Hardy-Weinberg>

Nota del Editor:

Journal of the Selva Andina Animal Science (JSAAS) se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales publicados en mapas y afiliaciones institucionales.