



ARTÍCULO ORIGINAL

HEREDABILIDAD, CORRELACIONES GENÉTICAS Y FENOTÍPICAS DE CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE ALPACAS SURI DE UN AÑO DE EDAD EN EL ANEXO QUIMSACHATA DEL INIA – PUNO

HEREDABILITY, GENETIC AND PHENOTYPIC CORRELATIONS OF FIBER CHARACTERISTICS OF ONE-YEAR-OLD SURI ALPACAS IN THE QUIMSACHATA ANNEX OF INIA – PUNO

Gerardo Godofredo Mamani Choque¹

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Quimsachata– Puno

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron estimar las heredabilidades, correlaciones genéticas y fenotípicas para caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra en el vellón de alpacas Suri de primera esquila, del Anexo Quimsachata del INIA Puno, ubicado en el Departamento de Puno, a 4190 m.s.n.m. en la Zona Agroecológica de Puna Seca. Se utilizaron muestras de 413 alpacas Suri de primera esquila, nacidas en los años 2013 hasta el año 2017. Los caracteres evaluados fueron el diámetro promedio de fibra (DF), coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra (CV), factor de confort (FC), finura al hilado (FH), el índice de curvatura (IC) y la desviación estándar del diámetro promedio de fibra (DS). Para estimar los componentes de varianza de los caracteres mencionados se utilizó el modelo animal multicarácter. Los componentes de varianza y parámetros genéticos fueron estimados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida y se utilizó el programa VCE. Las correlaciones fenotípicas se estimaron por el método de correlación de Pearson con el programa estadístico SAS. Los resultados muestran que las heredabilidades obtenidas para DF, CV, FC, FH, IC y DS, fueron: 0,69; 0,48; 0,59; 0,68; 0,14 y 0,61, respectivamente. Las correlaciones genéticas y fenotípicas fueron de baja, mediana y alta magnitud. Se concluye que las heredabilidades sugieren que la selección individual por estas características, menos por IC, resultarán en un progreso genético aceptable. Asimismo, seleccionando por estos caracteres se lograría reducir la variabilidad de la finura en los vellones. Asimismo, estimar y conocer los parámetros genéticos de todos estos caracteres permitirá tomar una decisión más acertada al momento de elegir los objetivos y criterios de selección dentro de un plan de mejora.

Palabras clave: Alpaca, correlaciones genéticas, diámetro de fibra, heredabilidad, Suri.

ABSTRACT

The objectives of the present study were to estimate the heritabilities, genetic and phenotypic correlations for characters associated with the uniformity of the fiber diameter in the fleece of Suri alpacas of first shearing, from the Quimsachata Annex of the INIA Puno, located in the Department of Puno, at 4190 m.a.s.l. in the Puna Seca Agroecological Zone. Samples of 413 first-shearing Suri alpacas, born in the years 2013 to 2017, were used. The characters evaluated were the average fiber diameter (DF), coefficient of variation of the average fiber diameter (CV), comfort factor (FC), yarn count (FH), the curvature index (CI) and the standard deviation of the average fiber diameter (SD). To estimate the variance components of the mentioned characters, the multicharacter animal model was used. The variance components and genetic parameters were estimated by the Restricted Maximum Likelihood method and the VCE program was used. Phenotypic correlations were estimated using the Pearson correlation method with the SAS statistical program. The results show that the heritabilities obtained for DF, CV, FC, FH, IC and DS were: 0.69; 0.48; 0.59; 0.68; 0.14 and 0.61, respectively. Genetic and phenotypic correlations were of low, medium and high magnitude. It is concluded that the heritabilities suggest that individual selection for these characteristics, except for IC, will result in acceptable genetic progress. Likewise, selecting for these characters would reduce the variability of fineness in the fleeces. Likewise, estimating and knowing the genetic parameters of all these characters will allow making a more accurate decision when choosing the objectives and selection criteria within an improvement plan.

Keywords: Alpaca, fiber diameter, genetic correlations, heritability, Suri.

*Auto para correspondencia: godofredomamani@gmail.com

ORCID: [0000-0003-1858-4270](https://orcid.org/0000-0003-1858-4270)



INTRODUCCIÓN

La producción de fibra es la principal actividad y el pilar de la economía de un vasto sector de la población alto andina del Perú que, por las condiciones ecológicas desfavorables para la agricultura, encuentra en la crianza de la alpaca su principal medio de sustento. La uniformidad de la fibra está directamente relacionada con el diámetro promedio de fibra (DF) en el vellón. Por lo cual, la clasificación de los vellones se basa principalmente en esta característica, ya que permite una mejor valorización al momento de la comercialización; es decir, vellones de mayor uniformidad tienen mejores precios (Manso 2011; Ayala & Chávez 2006; Bustinza 2001a; Bustinza 2001b).

Otra característica complementaria que influyen sobre la uniformidad de la fibra, es el coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra (CV), que es una medida de dispersión relativa del diámetro de la fibra alrededor de la media dentro de un vellón, de manera que un vellón con CV más bajo indica una mayor uniformidad de los diámetros de las fibras individuales que lo componen, produciendo un hilo más resistente. Otras características importantes son el factor de confort, la finura al hilado, el índice de curvatura y la desviación estándar del diámetro promedio de fibra (Gutiérrez *et al.* 2018; A. Cruz *et al.* 2015; More *et al.* 2017; Renieri *et al.* 2007).

En consecuencia, la uniformidad podría ser la cualidad más destacada del vellón y la que ocupa ampliamente el campo de la investigación y la selección de alpacas; en base a ello es necesario saber objetivamente qué características podrían estar influenciando sobre la uniformidad del vellón (Aguilar 2019).

La evaluación de los animales con respecto a estas características se realiza directamente a través del fenotipo del individuo, o se estima a través de la genealogía o de su descendencia. Las correlaciones fenotípicas permiten predecir cambios de una característica en el rebaño actual, cuando se selecciona animales por una u otra característica (Caballero 2017; Lopes, Pieres

Filho & Tores 2005). El valor absoluto de la correlación indica si la asociación es alta o baja, facilitando la selección cuando las correlaciones son del mismo signo o debiendo ponderarlas económicamente cuando son de signo contrario. Al seleccionar animales por una determinada característica, se debe considerar que, indirectamente, otras variables estarán siendo afectadas (Sacchero 2008; Mamani 1995, Thompson 2008).

Asimismo, estimaciones de los parámetros genéticos y fenotípicos de las características de producción son esenciales en la predicción de la ganancia verdadera por selección; tanto en la presente como en las futuras generaciones. Dicha información también permite elaborar índices de selección, que facilitan una efectiva aplicación de la selección de los reproductores (Caballero 2017, Quispe *et al.* 2013). De ahí la necesidad de contar con valores obtenidos bajo condiciones ambientales, de manejo, alimentación y sanidad existentes actualmente, para grupos poblacionales de esta especie en las zonas alto andinas, lugar donde se asienta la totalidad de la población de alpacas del país (Gutiérrez 2008; Roque & Ormachea 2018).

Actualmente, aún no existe información para poblaciones de alpacas de la raza Suri de la Zona Agroecológica Puna Seca, por lo que esta investigación pretende contribuir con el conocimiento de las heredabilidades, correlaciones genéticas y correlaciones fenotípicas de caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra de alpacas Suri de primera esquila, del Anexo Quimsachata del INIA Puno, información que permitirá tomar decisiones relacionadas con programas de mejora genética.

Los objetivos específicos son:

Estimar las heredabilidades para el diámetro promedio de fibra (DF), coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra (CV), factor de confort (FC), finura al hilado (FH), el índice de curvatura (IC) y la desviación estándar del diámetro promedio de fibra (DS) de alpacas Suri a la primera esquila.

Estimar las correlaciones genéticas entre el diámetro promedio de fibra (DF), coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra (CV), factor de confort (FC), finura al hilado (FH), el índice de curvatura (IC) y la desviación estándar del diámetro promedio de fibra (DS) de alpacas Suri a la primera esquila.

Estimar las correlaciones fenotípicas entre el diámetro promedio de fibra (DF), coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra (CV), factor de confort (FC), finura al hilado (FH), el índice de curvatura (IC) y la desviación estándar del diámetro promedio de fibra (DS) de alpacas Suri a la primera esquila

MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se realizó en el Anexo Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Puno, que se encuentra ubicado entre los distritos de Santa Lucía y Cabanillas de las provincias de Lampa y San Román de la región Puno, en las siguientes coordenadas: Latitud Sur: 15° 44' 00''; Longitud Oeste: 70° 41' 00'' y Altitud: 4 200 msnm. La temperatura media anual es de 7 °C (fluctúa entre 3 °C y 15 °C), con una humedad relativa de 40 % y con una precipitación pluvial anual que varía entre 400 y 688,33, abarca una extensión total de 6,281.5 has (INIA-Illpa 2008).

Población

El Anexo Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Puno es actualmente considerado un Banco de Germoplasma de Camélidos Sudamericanos Domésticos, cuyo objetivo primordial es la conservación de estas especies.

Para el presente estudio se utilizó toda la población de alpacas de la raza Suri del Banco de Germoplasma. Se usaron datos de 402 alpacas Suri de primera esquila, nacidos en los años 2013 al 2017. Durante la sistematización hubo un porcentaje de depuración por duplicidad de arete, inconsistencia en las fechas de empadre y parto, descartándose datos en el registro del archivo realizado.

Tabla 1

Distribución del número de alpacas Suri según año de producción, en el Anexo Qimsachata del INIA Puno

Año de nacimiento	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Machos	71	56	23	20	21	191
Hembras	64	59	42	19	27	211
Total	135	115	65	39	48	402

Fase de análisis de datos

- Se utilizaron los registros de genealogía y de producción reportado por el laboratorio de Fibras del Anexo Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Puno. Se eliminaron los códigos repetidos, para luego integrar los archivos de producción y genealogía según el código del animal.
- Las seis características analizadas en la zona de muestreo (costillar medio) asociadas a la uniformidad del vellón fueron: el diámetro promedio de la fibra (DF), coeficiente de variación del promedio de diámetro de fibra (CV), factor de confort (FC), finura al hilado (FH), índice de curvatura (IC) y la desviación típica del diámetro de fibra (DS), de los vellones de alpacas tuis Suri a primera esquila.

- Los parámetros genéticos estimados fueron índices de herencia y correlaciones genéticas, utilizando el método de máxima verosimilitud restringida, REML (Mrode 2014; Thompson *et al.* 2005) aplicando procedimientos del modelo mixto. El software VCE versión 6.0.2 fue utilizado para la estimación de los componentes de variancia y covariancia, índices de herencia y correlaciones genéticas de las características en estudio (Neumaier & Groeneveld 1998).

- La estimación de componentes de variancia mediante el método de máxima verosimilitud restringida, REML, requirió de procedimientos que permitieron encontrar el punto óptimo de una función conforme a la

cantidad de datos requeridos de la derivada de dicha función (More *et al.* 2017).

Estimación de los parámetros genéticos

Para la estimación de los componentes de varianza y los parámetros genéticos se utilizó el modelo animal (modelo mixto) (Caballero 2017; Pierce 2011; Quispe & Alfonso 2018; Quispe *et al.* 2009; Vizmanos 2014); la información analizada fueron las mediciones del diámetro promedio de fibra (DF),

coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra (CV), factor de confort (FC), finura al hilado (FH), el índice de curvatura (IC) y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra.

Modelo animal

Para estimar la varianza y los componentes de co-varianza para DF (y_1), CV (y_2), FC (y_3), FH (y_4) y IC (y_5) se utilizó el siguiente modelo animal lineal multicarácter:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \end{bmatrix}$$

Donde y_1, y_2, y_3, y_4 e y_5 son vectores de registros fenotípicos para DF, CV, FC, FH y IC, respectivamente; b_i son los vectores de efectos fijos para las características en estudio ($i = 1, 2, 3, 4$ y 5), todos incluyendo el grupo contemporáneo de alpacas: sexo : año como factor y edad del animal (EA) como covariable; u_i, c_i y e_i son los vectores de efectos genéticos animales aleatorios, efectos ambientales comunes relacionados con familias y efectos residuales, respectivamente, para la característica i ; y

X_i, Z_i y W_i son el diseño de matrices para la característica i .

Las heredabilidades y las correlaciones genéticas se estimaron utilizando el programa VCE versión 6.0.2 (Neumaier and Groeneveld 1998).

La correlación genética se calculó usando los componente de varianza de los caracteres evaluados (Caballero 2017; Pinares *et al.* 2018), como son el DF, CV, FC, FH, IC y la DS aplicando la siguiente fórmula:

$$r_{u_x u_y} = \frac{\sigma_{u_x u_y}}{\sigma_{\mu_x} \sigma_{\mu_y}}$$

Donde:

$r_{u_x u_y}$ = Correlación genética entre dos caracteres

$\sigma_{u_x u_y}$ = Covarianza entre los caracteres

σ_{μ_x} = Desviación estándar genética del carácter x

σ_{μ_y} = Desviación estándar genética del carácter y

Para estimar las correlaciones fenotípicas se utilizó el método de correlación lineal de

Pearson, cuya fórmula es la siguiente (Ibañez 2009; Martinez-Gonzales 2009).

$$p = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

Donde:

p = Es el coeficiente de correlación

σ_x^2 = Es la varianza de x

σ_y^2 = Es la varianza de y

σ_{xy} = Es la covarianza entre x e y

Para el cálculo de los coeficientes de correlación los datos fueron procesados con el programa estadístico SAS versión 9.4 (Statistical Analysis System-SAS 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Heredabilidad (h²) para los caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra de alpaca Suri a la primera esquila

Los valores estimados de heredabilidad (h²) y sus respectivos errores estándar para los

caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra de alpaca Suri a la primera esquila en el Anexo Quimsachata del INIA Puno se aprecian en la Tabla 2.

Tabla 2

Varianza genética, varianza fenotípica, heredabilidad y error estándar para los caracteres de alpaca Suri a la primera esquila en el Anexo Quimsachata del INIA Puno.

Variable	Varianza genética	Varianza residual	Varianza fenotípica	Heredabilidad	Error estándar
DF	5,6816	2,4875	8,1691	0,69	0,02
CV	7,4694	8,0346	15,5039	0,48	0,04
FC	22,8272	15,7607	38,5879	0,59	0,03
FH	6,4979	2,9408	9,4387	0,68	0,02
IC	4,5661	26,6368	31,2029	0,15	0,03
DS	0,7691	0,4932	1,2623	0,61	0,02

Heredabilidad (h²) del diámetro promedio de la fibra

La heredabilidad del diámetro promedio de la fibra para las alpacas Suri a la primera esquila fue de 0,69 (Tabla 2) que es considerado como una heredabilidad de alta magnitud, con un error estándar de 0,02, considera aceptable y por tanto confiable. Es un resultado importante ya que las estimaciones de las heredabilidades obtenidas para el diámetro promedio de la fibra en alpacas Suri a la primera esquila son muy escasas. Cervantes *et al.* (2010) reportan que la heredabilidad para el promedio del diámetro de la fibra en alpacas Suri fue de 0,699 ± 0,018, considerado como una heredabilidad alta y similar a los resultados encontrados en esta investigación; aunque en dicho estudio se utilizó un modelo de caracteres repetidos. También reportan que la heredabilidad para este mismo carácter en alpacas Huacaya fue de 0,369 ± 0,012, Esto indica que, dentro de los parámetros genéticos, el valor de la heredabilidad es propio de cada población de animal. Por otro lado, Caballero (2017) indica que las variaciones entre los valores de heredabilidad reportados en diferentes estudios podrían atribuirse a diferencias entre poblaciones y los métodos de

estimación utilizados, incluso puede variar en función del ambiente.

La heredabilidad del diámetro promedio de la fibra en la población de alpacas Suri del Anexo Quimsachata (INIA Puno) es alta, por tanto, la correlación entre genotipo y el fenotipo de los individuos debe ser también alta; por esta razón la selección como método de mejoramiento sobre la base del fenotipo individual será efectiva y es la que se debe usar. Esto indica que es posible obtener una buena respuesta a la selección. Asimismo, significa que la variación observada se debe a causas genéticas aditivas (heredables) principalmente, por lo que seleccionando a los mejores individuos se escoge también a los que tienen mejores alelos y a los que mejor descendencia (por término medio) dejarán.

Coefficiente de variación del diámetro promedio de fibra

La Heredabilidad estimada del coeficiente de variación del diámetro promedio de fibra fue de 0,48 (Tabla 2), es considerado como una heredabilidad de media a alta magnitud, con un error estándar de 0,04 que indica precisión de la heredabilidad para esta característica. Cervantes *et al.* (2010) reportan que la heredabilidad para el coeficiente de variación del diámetro

promedio de la fibra en alpacas Suri fue de $0,605 \pm 0,026$, considerada como una heredabilidad alta y mayor a los resultados encontrados en el presente estudio.

Factor de confort

La heredabilidad estimada del factor de confort fue de 0,59 (Tabla 2), considerado de alta magnitud. Cervantes *et al.* (2010) reportan que la heredabilidad para el factor de confort de la fibra en alpacas Suri fue de $0,565 \pm 0,021$, considerado como una heredabilidad alta y similar a los resultados encontrados en el presente estudio.

Cuando la heredabilidad del factor de confort es alta, la correlación entre genotipo y el fenotipo de los individuos en promedio debe ser también alta; por tanto, la selección como método de mejoramiento sobre la base del fenotipo individual será efectiva.

Finura al hilado

La heredabilidad de la finura al hilado fue de 0,68 (Tabla 2), considerado de alta magnitud. Por lo tanto, la correlación entre genotipo y el fenotipo de los individuos en promedio debe ser también alta; por esta razón, la selección como método de mejoramiento sobre la base del fenotipo individual será efectiva y es la que se debe usar. Significa que es posible obtener una buena respuesta a la selección, puesto que la variación observada se debe a causas genéticas aditivas (heredables) principalmente. Significa que escogiendo a los mejores individuos, se escoge también a los que tienen mejores alelos y a los que mejor descendencia dejarán.

Para esta característica, no se encontraron reportes de heredabilidad.

Índice de curvatura de la fibra

La heredabilidad estimada para esta característica fue de 0,15 (Tabla 2), considerado de baja magnitud con un error estándar de 0,03, por tanto, confiable. Es necesario destacar que, entre todas las características asociadas a la uniformidad del diámetro de la fibra estimadas en el presente estudio, el índice de curvatura es el

que presenta la menor heredabilidad. Para esta característica, tampoco se encontraron reportes de heredabilidad.

Un valor bajo de heredabilidad, sugiere que no debe ser considerado dentro los criterios de selección, porque la correlación entre el genotipo y el fenotipo, también lo es, y el método de mejoramiento debe ser por pedigrí o progenie. Asimismo, valores bajos de heredabilidad significan que gran parte de la variación de la característica es debida a las diferencias ambientales entre los individuos (Sávio 2005). Además, la baja heredabilidad de un

carácter depende de su variabilidad genética relativa a la total (fenotípica) y no tanto de su determinación genética. Cuando la heredabilidad en sentido restringido es baja, existe poco parecido entre los progenitores y la descendencia (Pierce 2011). Si la variación de un carácter en la población es debida a efectos ambientales, se logra muy poco seleccionando genéticamente a los progenitores (Vizmanos 2014).

Desviación estándar del diámetro promedio de fibra

La heredabilidad de la desviación estándar del diámetro promedio de fibra fue de 0,61 (Tabla 2), considerada de alta magnitud con un error estándar bajo (0,02). Cervantes *et al.* (2010) reportan que la heredabilidad para el coeficiente de variación del diámetro promedio de la fibra en alpacas Suri fue de $0,684 \pm 0,019$, considerado como una heredabilidad alta y mayor a los resultados encontrados en el presente estudio. Una heredabilidad más baja (0,03) es reportado por Cruz (2011).

Correlaciones genéticas

Los valores estimados de correlaciones genéticas (r_g) para los caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra de alpacas Suri a la primera esquila en el Anexo Quimsachata del INIA y sus respectivos errores estándar se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3

Correlaciones genéticas (sobre la diagonal) con sus respectivos errores estándar para los caracteres de alpacas Suri a la primera esquila en el Anexo Quimsachata del INIA Puno.

	DF	CV	FC	FH	IC	DS
DF		-0,02 (0,09)	-0,86 (0,02)	0,97 (0,004)	-0,70 (0,10)	0,75 (0,04)
CV			-0,38 (0,08)	0,20 (0,08)	-0,08 (0,22)	0,63 (0,04)
FC				-0,93 (0,01)	0,53 (0,16)	-0,92 (0,02)
FH					-0,71 (0,11)	0,88 (0,02)
IC						-0,63 (0,16)
DS						

Las correlaciones genéticas más altas y positivas corresponden al diámetro promedio de la fibra y la finura al hilado de la fibra (0,97), finura al hilado de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (0,88), diámetro promedio de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio (0,75), coeficiente de variación del promedio de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (0,63), el factor de confort de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (0,53); estos resultados son de gran importancia en los procesos de selección puesto que las mejoras en una carácter genético estará asociado con la mejor de otra, de manera que los cambios en ambos caracteres serían favorables, Así, por ejemplo, una mejora en el diámetro promedio de fibra estará asociado positivamente con la finura al hilado de la fibra.

En otro caso, la disminución del diámetro de fibra estará asociado con una disminución de la desviación estándar, lo que supone un cambio en el sentido favorable de ambos caracteres. Vale decir que al seleccionar una fibra más fina se obtendrá también una fibra más homogénea, favoreciendo la selección simultánea para la finura y uniformidad de los vellones de alpaca. El único coeficiente de correlación genética relativamente bajo correspondió al coeficiente de variación del promedio de la fibra y la finura al hilado de la fibra (0,20).

Por otro lado, se encontraron correlaciones genéticas negativas para el factor de confort de la fibra y la finura al hilado de la fibra (-0,93), el factor de confort de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (-0,92), el diámetro promedio de la fibra y el factor de confort de la fibra (-0,86), la finura al hilado de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (-0,71), el diámetro promedio de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (-0,70), el índice de curvatura de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (-0,63). Algunas implicancias importantes durante la selección serían los siguientes: a) una disminución de la desviación estándar estará asociado a un aumento en el factor confort, b) la disminuye del diámetro de fibra estará asociado con un aumento en el factor de confort, traduciéndose en un cambio favorable del carácter, c) una disminución del coeficiente de variación estará asociado con un aumento del factor de confort, traduciéndose en un cambio favorable del carácter. El único coeficiente de correlación genéticas relativamente bajo corresponde al promedio de la fibra y el factor de confort de la fibra (-0,38).

Las correlaciones genéticas más bajas y próximos a cero corresponden al diámetro promedio de la fibra y el coeficiente de variación del diámetro promedio de la fibra (-0,02), y el coeficiente de variación del promedio de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (-0,08).

En general, los valores de las correlaciones genéticas encontrados en esta investigación, permiten suponer que existe pleiotropía, fenómeno por el cual un solo gen afecta a más de una característica, es decir, los mismos genes encargados de la expresión de una característica están también expresando la otra característica correlacionada. Sin embargo, también puede deberse al ligamiento debido a que los principales genes que afectan a las dos características se

encuentran muy cercanos dentro del cromosoma y tienden a mantenerse juntos durante la meiosis (Caballero 2017).

Correlaciones fenotípicas

Los valores estimados de correlaciones fenotípicas (r_p) para los caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra de alpacas Suri a la primera esquila en el Anexo Quimsachata del INIA y sus respectivas probabilidades se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4
Correlaciones fenotípicas (debajo la diagonal) con sus respectivas probabilidades, para los caracteres de alpacas Suri a la primera esquila en el Anexo Quimsachata del INIA Puno.

	DF	CV	FC	FH	IC	DS
DF						
CV	-0,009 (<0,0001)					
FC	-0,85 (<0,0001)	-0,29 (<0,0001)				
FH	0,96 (0,4152)	0,25 (<0,0001)	-0,91 (<0,0001)			
IC	-0,53 (<0,0001)	-0,004 (<0,0001)	0,40 (<0,0001)	-0,51 (<0,0001)		
DS	0,69 (<0,0001)	0,71 (<0,0001)	-0,82 (<0,0001)	0,86 (0,2411)	-0,36 (<0,0001)	

Las correlaciones fenotípicas positivas corresponden al diámetro promedio de la fibra y la finura al hilado de la fibra (0,96), la finura al hilado de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (0,86), el coeficiente de variación del promedio de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (0,71), el diámetro promedio de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (0,69), el factor de confort de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (0,40), el coeficiente de variación del promedio de la fibra y la finura al hilado de la fibra (0,25). Los aspectos relevantes de estos resultados, relacionados con la selección son los siguientes: a) al disminuir el diámetro de fibra, la desviación estándar también disminuirá, lo que se traduciría en cambio favorable de ambos caracteres. Si se selecciona una fibra más fina,

indirectamente se selecciona fibra homogénea, b) al disminuir la desviación estándar, el coeficiente de variación también disminuirá, lo que supone un cambio en el sentido favorable de ambos caracteres,

Entre las correlaciones fenotípicas negativas corresponden al factor de confort de la fibra y la finura al hilado de la fibra (-0,91), el diámetro promedio de la fibra y el factor de confort de la fibra (-0,85), el factor de confort de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (-0,82), el diámetro promedio de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (-0,53), la finura al hilado de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (-0,51), el índice de curvatura de la fibra y la desviación estándar del diámetro promedio de la fibra (-0,36), el coeficiente de variación del promedio de la fibra y el factor de confort de la fibra (-0,29). Algunas

implicancias importantes de estos resultados en un proceso de selección son los siguientes: a) al disminuir el diámetro de fibra, el factor confort aumentará generando un cambio favorable del carácter, b) al disminuir la desviación estándar, el factor confort aumentará, c) al disminuir el coeficiente de variación, el factor confort aumentará, lo que supone un cambio en el sentido favorable del carácter.

Finalmente, las correlaciones fenotípicas muy bajas, con valores próximos a cero corresponden al diámetro promedio de la fibra y el coeficiente de variación del diámetro promedio de la fibra (0,009), y el coeficiente de variación del promedio de la fibra y el índice de curvatura de la fibra (-0,004). Estos resultados indican que se pueden trabajar como caracteres separados y la selección para uno, no influiría en la selección para el otro carácter.

CONCLUSIONES

Las heredabilidades para el DF, CV, FC, FH, IC y la DS en alpacas Suri a la primera esquila son de alta magnitud y es posible obtener buena respuesta a la selección; lo cual no sucede para el índice de curvatura cuya heredabilidad es baja.

Las correlaciones genéticas entre el DF, CV, FC, FH, IC y la DS en alpacas Suri a la primera esquila fueron altas, medias y bajas directa e inversamente proporcionales; lo cual indica que, si mejoramos una característica, indirectamente se mejorarán otras características. La correlación genética entre DF y FH es alta ($0,97 \pm 0,004$), indica que la mayoría de los genes que influyen sobre el DF influyen también sobre la FH y en el mismo sentido, lo que resultará en una respuesta correlacionada eficiente.

Las correlaciones fenotípicas entre el DF, CV, FC, FH, IC y la DS en alpacas Suri a la primera esquila fueron altas, medias y bajas directa e inversamente proporcionales; lo cual indica que si se produce un cambio en una característica, indirectamente se producirá un cambio en otra característica. La correlación fenotípica entre DF y FH es alta ($0,96 < 0,4152$), indicando que la mayoría de los genes y los factores medio

ambientales que influyen sobre el DF influyen también sobre la FH y en el mismo sentido, lo que resultará en una respuesta correlacionada eficiente.

Estimar y conocer los parámetros genéticos de todos estos caracteres permitirá tomar una decisión más acertada al momento de elegir los objetivos y criterios de selección dentro de un plan de mejora.

AGRADECIMIENTOS

Con especial gratitud, a mi amigo el Dr. Rubén Herberth Mamani Cato, mi sincero agradecimiento por su incondicional apoyo, por el tiempo dedicado, la ayuda en el análisis de la información y por su valiosa amistad.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA A la Estación Experimental Agraria Illpa y al Banco de Germoplasma de Camélidos Quimsachata, por facilitarnos la base de datos y por permitir trabajar con sus animales para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- Aguilar, B. 2019. "Parámetros Genéticos de Caracteres Asociados a La Uniformidad Del Diámetro de Fibra En Alpacas Huacaya Del Fundo Mallkini, Puno."
- Ayala, J., and J. Chávez. 2006. "Índice de Selección Genética Para Características Del Diámetro de Fibra de Alpacas de Huacaya Tuis y Adultas En La Sierra Central Del Perú."
- Bustinza, V. 2001a. *La Alpaca: Conocimiento del gran potencial andino. Libro 1*. Instituto de Investigación y Promoción de Camélidos Sudamericanos. Universidad Nacional del Altiplano.
- Bustinza, V. (2001b). *La Alpaca: Crianza, manejo y mejoramiento. Libro 2*. Instituto de Investigación y Promoción de Camélidos Sudamericanos. Universidad Nacional del Altiplano.
- Caballero, A. 2017. *Genética Cuantitativa*. 1ra. Ed. Madrid: Editorial Síntesis.
- Cervantes, I., M. A. Pérez-Cabal, R. Morante, A. Burgos, C. Salgado, B.

- Nieto, F. Goyache, and J. P. Gutiérrez. 2010. Genetic Parameters and Relationships between Fibre and Type Traits in Two Breeds of Peruvian Alpacas. *Small Ruminant Research* 88 (1): 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.10.016>.
- Cruz, A., I. Cervantes, A. Burgos, R. Morante, & J. P. Gutiérrez. 2015. “Estimation of Genetic Parameters for Reproductive Traits in Alpacas.” *Animal Reproduction Science* 163: 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.09.017>.
- Cruz, L. 2011. “Estimación de Parámetros Genéticos Para Caracteres Productivos En Alpacas (Vicugna Pacos), Perú 2011.” *Universidad Politécnica de Valencia*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1976.tb08186.x>.
- Gutiérrez, G. 2008. “Revisión de La Estimación de Los Parámetros Genéticos En Alpacas.” In *Actualidades Sobre Adaptación, Producción, Reproducción y Mejora Genética En Camélidos*. Huancayo - Perú, 83–92. Huancayo, Perú.
- Gutierrez, G. A., J. P. Gutierrez, T. Huanca, and M. Wurzinger. 2018. “Challenges and Opportunities of Genetic Improvement in Alpacas and Llamas in Peru.” In *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Auckland, New Zealand*, 12–16.
- Ibañez, V. 2009. *Métodos Estadísticos*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Escuela de Post Grado. Maestría en Ganadería Andina. Editorial Universitaria.
- INIA-Ilpa. 2008. *Plan Operativo Anual INIA – Ilpa*. Puno, Perú.
- Lopes, P., A. J. Pieres Filho, and R. Tores. 2005. *Teoria Do Melhoramento Animal*. Belo Horizonte, Brasil: FEPMVZ.
- Mamani, G. 1995. “Parámetros Genéticos de Peso Vivo y Peso de Vellón En Alpacas Huacaya de La Puna Húmeda de Puno.” *XVIII Reunión Científica Anual de La Asociación Peruana de Producción Animal*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 25–28.
- Manso, C. 2011. “Determinación de La Calidad de Fibra de Alpaca En Huancavelica (Perú): Validación de Los Métodos de Muestreo y Valoración.” *Universidad Público de Navarra*. España: Universidad Pública de Navarra.
- Martinez-Gonzales. 2009. *Bioestadística Amigable*. 3ra. España: Ediciones Díaz de Santos.
- More, M., D. Ponce, W. Vivanco, M. Asparrin, & G. Gutiérrez. 2017. “Genetic Parameters for Fleece Weight and Fibre Characteristics in Huacaya Alpacas.” In *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production Digital Archive*. New Zealand: Massey University.
- Mrode, R. A. 2014. *Linear Model for the Prediction of Animal Breeding Values*. 3ra. Ed. Edinburgh: UK: CABI.
- Neumaier, A, and E Groeneveld. 1998. “Restricted Maximum Likelihood Estimation of Covariances in Sparse Linear Models.” *Genetics Selection Evolution* 30 (1): 3–26. <https://doi.org/10.1051/gse:19980101>.
- Pierce, B. A. 2011. *Fundamentos de Genética. Conceptos y Relaciones*. Buenos Aires, Argentina.: Ed. Médica Panamericana.
- Pinares, Rubén, Gustavo Augusto Gutiérrez, Alan Cruz, Renzo Morante, Isabel Cervantes, Alonso Burgos, and Juan Pablo Gutiérrez. 2018. “Heritability of Individual Fiber Medullation in Peruvian Alpacas.” *Small Ruminant Research* 165 (January): 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.04.007>.
- Quispe, E. C., Poma, A., & Purroy, A. 2013. Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza huacaya. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(1), 1–29.
- Quispe, E. C., & L. Alfonso. 2018. *Predicción de Valores de Cría de Animales Domésticos*. Cajamarca - Perú: Editorial Bravo Impresores.
- Quispe, E.C., T.C. Rodríguez, L.R. Iñiguez, and J.P. Mueller. 2009. “Producción de

- Fibra de Alpaca, Llama, Vicuña y Guanaco En Sudamérica.” *Animal Genetic Resources Information* 45: 1–14.
<https://doi.org/10.1017/s1014233909990277>.
- Renieri, C, C Pacheco, A Valbonesi, and M Antonini. 2007. “Programa de Mejoramiento Genético En Camélidos Domésticos.” ... *de Produccion Animal* 15: 205–10.
- Roque, L., & Ormachea, E. 2018. Características productivas y textiles de la fibra en alpacas Huacaya de Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(4).
- Sacchero, D. M. 2008. “Utilización de Medidas Objetivas En Fibras Textiles Para Determinar Calidad.” In Seminario Internacional Biotecnología Aplicada En Camélidos Sudamericanos. 2008 11 19-21, 19 Al 21 de Noviembre, 2008. Huancavelica, Perú.
- Sávio, P. 2005. *Teoria Do Melhorameto Animal*. Brasil: Editorial Belo Horizonte.
- Statistical Analysis System-SAS. 2013. *User’s Guide (Release 9.4)*. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute.
- Thompson, Robin, Sue Brotherstone, and Ian M.S. White. 2005. “Estimation of Quantitative Genetic Parameters.” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360 (1459): 1469–77.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1676>
- Thompson, R. 2008. Estimation of quantitative genetic parameters. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1635), 679–686.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1417>
- Vizmanos, J. L. 2014. *Claves de La Genética de Poblaciones: Los Mecanismos Genéticos de La Evolución*. Barcelona, España: Editorial Elsevier.