



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

## **PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES FUNCIONALES Y SECUNDARIOS EN ALPACAS**



**FACULTAD DE VETERINARIA**  
**Departamento de Producción Animal**

**Leyfeng Alan Cruz Camacho**

*Madrid, Mayo Del 2017*





U N I V E R S I D A D  
**COMPLUTENSE**  
M A D R I D

**Facultad de Veterinaria**  
Departamento de Producción Animal

# **Parámetros Genéticos de Caracteres Funcionales y Secundarios en Alpacas**



**TESIS DOCTORAL**

**Presentada por: Leyfeng Alan Cruz Camacho**

**Director: Dr. Juan Pablo Gutiérrez García**

**Madrid, Febrero del 2017**





U N I V E R S I D A D  
**COMPLUTENSE**  
M A D R I D

**Facultad de Veterinaria**

**Departamento de Producción Animal**

**PARAMETROS GENÉTICOS DE  
CARACTERES FUNCIONALES Y  
SECUNDARIOS EN ALPACAS**

**Memoria presentada por:**

**Leyfeng Alan Cruz Camacho**

**Para optar al grado de Doctor en Veterinaria  
por la Universidad Complutense de Madrid**

**Dirigida por:**

**Juan Pablo Gutiérrez García**

**Madrid, Febrero del 2017**





**D. Juan Pablo Gutiérrez García**, Profesor Titular del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid,

**INFORMA:**

Que el presente trabajo de investigación titulado “**PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES FUNCIONALES Y SECUNDARIOS EN ALPACAS**” presentado por, **Don Leyfeng Alan Cruz Camacho**, y dirigida por quien suscribe, reúne los requisitos necesarios para su exposición y defensa, con el fin de optar al grado de Doctor en Veterinaria.

Y para que así conste, firmo el presente informe en Madrid, a 21 de Febrero del 2017





## **DEDICATORIA**

*A Claudia, por su incondicional apoyo y a mis hijos  
Adrian y Camila que me alegran cada día, a la memoria de mi  
abuelita Hermenegilda y mi padre Feliciano.*



## *AGRADECIMIENTOS*



*Agradecer infinitamente a los productores de camélidos del Perú, por el esfuerzo en la reproducción, producción y conservación de tan valioso recurso y por compartirnos sus experiencias, saberes y anécdotas los cuales hemos conceptualizado en esta tesis doctoral.*

*Al centro de mejora genética en alpacas, **Finca Experimental Pacamarca de Inca Tops S.A.** que ha puesto en marcha el programa de mejora y cuyos datos han servido para generar información científica, que servirá para replicar en todo el sector alpaquero.*

*Al Dr. **Juan Pablo Gutiérrez**, director de esta tesis, quien ha colaborado durante todos estos años de arduo trabajo y que como amigo me impulsó a seguir avanzando en la búsqueda de resultados cada vez que estos eran esquivos a mi entender. Agradecer su paciencia, esfuerzo y dedicación para guiarme hasta este resultado.*

*A **Alonso Burgos**, quien me ha confiado la **Finca** y los **datos** para poder plasmar nuestro trabajo, quien con su proactividad alienta este programa innovando y utilizando la información generada.*

*A **Renzo Morante**, un gran amigo, que siempre está compartiendo sus experiencias e ideas.*

*Un agradecimiento profundo a **Isabel Cervantes**, por las infatigables muestras de apoyo.*

*A Dr. **Agustín Blasco**, que me permitió conocer el mundo de la alpaca desde otra perspectiva para colaborar en su desarrollo.*

*A **Juan, Samuel y Richard**, mis compañeros de trabajo, quienes han colaborado para la recolección y sistematización de datos.*

*A mis amigos, Rommel, Anthony, Estrella, Ronald, Carlos, Virginia, Dianelys y Gabriel con quienes hemos intercambiado experiencias, notas de trabajo, por su amistad en cada día compartido.*

*Un infinito agradecimiento a mis tíos Marcos y Carmen quienes se han comportado como padres a lo largo de todos estos años de estudio y trabajo.*

*A mis hermanos Roxana y Alex por compartir su tiempo, quienes han hecho que estos años hayan sido de provecho.*

*A José Gabriel, Adonái, Miluska, Ian, Glenda y Leonel por apoyarme en aquellas horas de trabajo, y a Eliana Castro por aquellas tazas de té para vencer el sueño.*



## ÍNDICE



## INDICE GENERAL

|                                                                                   |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>SUMMARY .....</b>                                                              | <b>xiii</b> |
| <b>RESUMEN .....</b>                                                              | <b>xix</b>  |
| <b>I. INTRODUCCION .....</b>                                                      | <b>1</b>    |
| 1.1. Origen de la Familia Camelidae .....                                         | 3           |
| 1.2. Camellos y Dromedarios .....                                                 | 6           |
| 1.3. Camélidos Sudamericanos .....                                                | 6           |
| 1.3.1. Clasificación taxonómica de la Alpaca.....                                 | 7           |
| 1.3.2. Distribución geográfica de la Alpaca.....                                  | 9           |
| 1.3.3. Ecotipos, razas, subespecies, variedades o líneas .....                    | 10          |
| 1.3.3.1. Ecotipo Huacaya .....                                                    | 11          |
| 1.3.3.2. Ecotipo Suri .....                                                       | 12          |
| 1.3.4. Color de la capa.....                                                      | 13          |
| 1.3.5. La reproducción en alpacas .....                                           | 16          |
| 1.3.6. Aptitud cárnica .....                                                      | 18          |
| 1.3.7. Normas legales peruanas relacionadas con la producción de<br>alpacas ..... | 19          |
| 1.3.8. Valor textil de la fibra de alpaca.....                                    | 23          |
| 1.4. Sistema tradicional de producción alpaquera.....                             | 26          |
| 1.5. Sistema sostenible – Ejemplo Pacomarca .....                                 | 28          |
| 1.5.1. Inca esquila.....                                                          | 30          |
| 1.5.2. Estudios científicos en Pacomarca .....                                    | 33          |
| 1.5.3. Tendencias Genéticas .....                                                 | 40          |
| 1.6. Caracteres Funcionales y Secundarios.....                                    | 42          |
| 1.7. Justificación.....                                                           | 44          |
| <b>II. OBJETIVOS.....</b>                                                         | <b>47</b>   |

|                                                                                                                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>III. ESTIMACION DE PARAMETROS GENETICOS DE CARACTERES REPRODUCTIVOS EN ALPACAS.....</b>                                                                                             | <b>51</b>  |
| 3.1. Resumen .....                                                                                                                                                                     | 53         |
| 3.2. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in alpacas.<br>2015. <i>Animal Reproduction Science</i> 163, 48-55 .....                                                 | 55         |
| <b>IV. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES DE CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA PREDESTETE EN ALPACAS Y SU RELACION CON OTROS CARACTERES DE INTERES.....</b>                    | <b>65</b>  |
| 4.1. Resumen .....                                                                                                                                                                     | 67         |
| 4.2. Genetic parameters estimation for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpaca. 2017. <i>Animal</i> , in press. .... | 69         |
| <b>V. INFLUENCIA DEL EFECTO DE LA GESTACIÓN Y LACTACIÓN SOBRE LOS CARACTERES DE FIBRA DE ALPACA.....</b>                                                                               | <b>79</b>  |
| 5.1 Resumen .....                                                                                                                                                                      | 81         |
| 5.2 Effect of the gestation and lactation on fiber diameter and its variability in Peruvian alpacas. 2017. <i>Livestock Science</i> 198, 31-36. ....                                   | 82         |
| <b>VI. DISCUSION GENERAL.....</b>                                                                                                                                                      | <b>89</b>  |
| <b>VII. CONCLUSIONES .....</b>                                                                                                                                                         | <b>99</b>  |
| Conclusiones .....                                                                                                                                                                     | 101        |
| Conclusions .....                                                                                                                                                                      | 103        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>                                                                                                                                                 | <b>105</b> |
| <b>ANEXO .....</b>                                                                                                                                                                     | <b>117</b> |

## INDICE TABLAS

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1:</b> Clasificación taxonómica de los camélidos sudamericanos.....                                                                                                                      | 8  |
| <b>Tabla 2:</b> Agrupación y denominación de colores básicos según la Finca experimental Pacomarca. ....                                                                                          | 15 |
| <b>Tabla 3:</b> Marco Legal que regula las actividades pecuarias de alpacas en Perú. ....                                                                                                         | 20 |
| <b>Tabla 4:</b> Descriptores de la raza Huacaya según el D.S. 013-2011-AG.....                                                                                                                    | 22 |
| <b>Tabla 5:</b> Descriptores de la raza Suri según el D.S. 013-2011-AG.....                                                                                                                       | 23 |
| <b>Tabla 6:</b> Categorización del vellón según la NTP 231.302 – 2014. ....                                                                                                                       | 29 |
| <b>Tabla 7:</b> Clasificación de la fibra de alpaca según la NTP 231.301 – 2014. ....                                                                                                             | 29 |
| <b>Tabla 8:</b> Rendimientos entre los sistemas de esquila tradicional e Inca Esquila .....                                                                                                       | 31 |
| <b>Tabla 9:</b> Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (sobre la diagonal) y repetibilidades para seis caracteres productivos en alpacas Peruanas. ....                              | 34 |
| <b>Tabla 10:</b> Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (sobre la diagonal) y repetibilidades (fila R) para los caracteres de fibra y fenotipo en el ecotipo Huacaya. ....           | 35 |
| <b>Tabla 11:</b> Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (sobre la diagonal) y repetibilidades (fila R) para los caracteres de fibra y fenotipo en el ecotipo Suri. ....              | 35 |
| <b>Tabla 12:</b> Media de la distribución posterior de la densidad al 95% de los parámetros del modelo de herencia mixta para los ecotipos Huacaya y Suri. ....                                   | 36 |
| <b>Tabla 13:</b> Asociación de cuatro marcadores de microsatélites con los valores genéticos para el diámetro de fibra en los ecotipos Huacaya y Suri. ....                                       | 37 |
| <b>Tabla 14:</b> Respuestas relativas deseadas y respuestas genéticas esperadas en porcentaje para Pacomarca y el ICAR (Guías técnicas propuestas el 2012) para los ecotipos Huacaya y Suri. .... | 39 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Origen y evolución de los camélidos sudamericanos.....                                                     | 4  |
| <b>Figura 2:</b> Esquema de clasificación de la familia Camelidae .....                                                     | 5  |
| <b>Figura 3:</b> Población y distribución mundial de la alpaca.....                                                         | 9  |
| <b>Figura 4:</b> Alpaca blanca ecotipo Huacaya .....                                                                        | 12 |
| <b>Figura 5:</b> Alpaca blanca ecotipo Suri.....                                                                            | 13 |
| <b>Figura 6:</b> Variabilidad de tonalidades en el color de capa (ecotipo Huacaya).....                                     | 14 |
| <b>Figura 7:</b> Anatomía del aparato reproductor de la hembra de alpaca.....                                               | 18 |
| <b>Figura 8:</b> Esquema de registro genealógico de alpacas según el D.S. 013-2011-AG .....                                 | 21 |
| <b>Figura 9:</b> Promedio y variabilidad del diámetro de la fibra de alpaca en comparación a otras<br>fibras animales ..... | 24 |
| <b>Figura 10:</b> Sistema tradicional de esquila de alpacas .....                                                           | 27 |
| <b>Figura 11:</b> Diseño e Instalaciones de la Finca experimental Pacomarca.....                                            | 28 |
| <b>Figura 12:</b> Sistema mecanizado de esquila de alpacas “Inca esquila” .....                                             | 31 |
| <b>Figura 13:</b> Distribución corporal del diámetro de fibra en Alpacas .....                                              | 32 |
| <b>Figura 14:</b> Evolución del diámetro de la fibra a lo largo de la vida productiva en alpacas.<br>.....                  | 38 |
| <b>Figura 15:</b> Tendencias genéticas de caracteres de fibra para el ecotipo Huacaya .....                                 | 40 |
| <b>Figura 16:</b> Tendencias genéticas de caracteres de fibra para el ecotipo Suri .....                                    | 41 |



## **SUMMARY**





## SUMMARY

Camelids are raised in Peru in high altitude areas, where other species have enormous difficulties to survive. One of them, the alpaca, due to its interesting fiber characteristics, meat and by-products is well adapted to this environment, allowing a good economic performance. As a result of the efforts from small producers, researchers, and especially the final consumer, alpaca products are becoming increasingly popular among consumers of natural products, including fiber. Pacamarca is an experimental farm pioneered on the implementation of a breeding program for alpacas in Peru based on breeding values. Pacamarca has also developed his own software through which the worldwide largest alpaca performance dataset has been generated. Registration started since 1999 up to the present. This dataset has been extremely useful to generate information published in scientific journals, part of which has given rise to this Doctoral Thesis. All analyses in this Doctoral Thesis have been carried out independently for the two involved varieties, *Huacaya* and *Suri*. The first work was focused on estimating the genetic parameters of six reproductive traits and assessing their genetic correlation with fiber quality and morphological traits. Taking into account all the involved traits, 156,276 records of 7,742 animals were used, with 122,909 belonging to *Huacaya* animals and 33,367 of *Suri* ones. The reproductive traits were the age at first service, age at first calving, copulation time, pregnancy diagnosis, gestation length and calving interval. The results showed low heritabilities, respectively for *Huacaya* and *Suri*, of 0.19 and 0.09 for age at first service, 0.04 and 0.05 for copulation time, 0.07 and 0.05 for the pregnancy diagnosis, and 0.12 and 0.20 for gestation length. High heritabilities were 0.45 for *Huacaya* and 0.59 for *Suri* for age at first calving and low heritability for calving interval (0.14 for *Huacaya* and 0.09 for *Suri*). No significant correlations were estimated with fiber or with morphological traits. It was concluded that the age at first calving and calving interval could be considered as possible selection criteria to be included in alpaca breeding programs. The second work was aimed to try to profit from secondary products of the alpaca as meat producer, estimating the genetic parameters for preweaning growth and survival traits, as well as their genetic correlations with fiber, morphological and reproductive traits. Information was recorded from 8,188 animals, 6,396 *Huacaya* and 1,722 *Suri*

which, considering all the involved traits, gathered 111,840 *Huacaya* and 30,767 *Suri* records, analyzing the birth weight, birth withers height, weaning weight, weaning withers height, average daily gain, and survival to weaning. Weaning weight estimated heritabilities were 0.50 in *Huacaya* and 0.34 in *Suri*. For weaning withers height, they were 0.36 for *Huacaya* and 0.66 for *Suri*, and for average daily gain they were respectively 0.45 and 0.20 for both ecotypes. Unfavorable genetic correlations were found between main preweaning and fiber traits, being favorable between preweaning and morphological traits in the *Suri* ecotype, but not for the *Huacaya* one. Weaning weight could be an interesting trait to be used as a selection criterion in meat production, but it could also be of interest in fiber production to meet the Peruvian genealogical registration regulations that require a minimum animal size. Selection index theory would have to be applied if different framework traits would take part of a global genetic selection objective. The third work was focused on evaluating the influence of the physiological lactation and gestation states on fiber traits. Records from 2,413 alpacas older than 3 years were used, summing up to 8,648 and 2,410 records for the *Huacaya* and *Suri* ecotypes respectively. The females were grouped in open, pregnant, lactating and simultaneously pregnant and lactating, and it was also considered a group of males. The results showed that there was a high influence of the physiological state on fiber performance, where lactation was the most relevant, explaining the reduction of 1.2 and 1.0  $\mu\text{m}$  in diameter for the *Huacaya* and *Suri* ecotypes, respectively, when compared to pregnant females. It was concluded that the physiological state should be included as a fixed effect within the models for the estimation of genetic parameters and the prediction of breeding values. This Doctoral Thesis showed that there are functional and secondary traits candidates to be incorporated as selection criteria in alpaca breeding programs. Genetic enhancement of reproductive traits would not only improve farm productivity but would also contribute to a greater response to selection by increasing selection intensity. The inclusion of weaning weight as selection criterion would open the door to participation of small producers producing meat in breeding programs. The estimated genetic correlations would recommend the use of appropriate selection indexes after a previous study of their desired weight, but they also reported on the need to reconsider national criteria for animal registration. Finally, the inclusion of lactation and gestation states would have to be

fitted in genetic evaluation models. All this would result in an improvement of the economic progress of the farms with the consequent increase in the well-being of a population of producers who are at present under subsistence levels.





**RESUMEN**



## RESUMEN

Los camélidos se producen en Perú en las zonas de mayor altitud, donde otras especies tienen enormes dificultades para sobrevivir. Uno de ellos, la alpaca, gracias a las características de su fibra, carne y subproductos, se encuentra adaptada al medio, permitiendo un rendimiento económico creciente, gracias a los esfuerzos participativos de productores, investigadores, y en especial del consumidor final. Éste va generando cada vez una mayor aceptación al consumo de productos naturales, entre los que destaca la fibra de alpaca. Pacamarca es un centro experimental pionero por la puesta en marcha de un programa de mejora genética de alpacas en Perú con base en sus valores genéticos. Asimismo Pacamarca ha creado un software mediante el cual se ha generado la mayor base de datos productivos de alpacas a nivel mundial. Dichos datos han sido recopilados desde 1999 hasta la actualidad. Esta base de datos ha servido para generar información científica que ha sido publicada en revistas científicas y parte de la cual ha dado lugar a la presente Tesis Doctoral. Todos los análisis de esta Tesis Doctoral se han llevado a cabo de forma independiente para las dos variedades implicadas, *Huacaya* y *Suri*. El primer trabajo estuvo enfocado a estimar los parámetros genéticos de seis caracteres reproductivos y analizar su correlación con los caracteres determinantes de la calidad de la fibra y caracteres morfológicos. Teniendo en cuenta todos los caracteres implicados, se utilizaron 156.276 registros de 7.742 animales, siendo 122.909 del ecotipo *Huacaya* y 33.367 del ecotipo *Suri*. Se analizaron los caracteres reproductivos edad al primer servicio, edad al primer parto, tiempo de cópula, diagnóstico de gestación, duración de la gestación e intervalo entre partos. Los resultados mostraron heredabilidades bajas de 0,19 y 0,09 respectivamente para *Huacaya* y *Suri* para edad al primer servicio, 0,04 y 0,05 para el tiempo de cópula, 0,07 y 0,05 para el diagnóstico de la gestación, y 0,12 y 0,20 para duración de la gestación. Se encontraron heredabilidades altas de 0,45 para *Huacaya* y 0,59 para *Suri* para la edad al primer parto y una heredabilidad baja para el intervalo entre partos (0,14 para *Huacaya* y 0,09 para *Suri*). No se obtuvieron correlaciones genéticas relevantes con los caracteres reproductivos con los de fibra ni con los caracteres morfológicos. Se concluyó que la edad al primer parto y el intervalo entre partos podrían ser considerados como posibles criterios de selección

a incluir dentro de los programas de mejora en alpacas. El segundo trabajo se basó en la posibilidad de aprovechar los productos secundarios de la alpaca, como su producción cárnica, para lo cual se analizaron los parámetros genéticos de los caracteres de crecimiento y supervivencia predestete y su correlación con los caracteres de fibra, morfológicos y reproductivos. Se utilizó la información predestete de 8.118 animales, 6.396 *Huacaya* y 1.722 *Suri* que considerando todos los caracteres implicados presentaban 111.840 registros *Huacaya* y 30.767 *Suri*. Se analizó el peso al nacimiento, la alzada a la cruz al nacimiento, el peso al destete, la alzada a la cruz al destete, la ganancia media diaria predestete y la supervivencia al destete. Las heredabilidades estimadas para el peso al destete fueron 0,50 en *Huacaya* y 0,34 en *Suri*, 0,36 para *Huacaya* y 0,66 *Suri* para alzada a la cruz al destete y 0,45 y 0,20 para la ganancia media diaria para los respectivos ecotipos. Se encontraron correlaciones genéticas desfavorables entre este tipo de caracteres y los principales caracteres de fibra, siendo favorables para los caracteres morfológicos en el ecotipo *Suri* pero no así para el ecotipo *Huacaya*. El peso al destete podría ser un carácter interesante a considerar como posible criterio de selección cuando se trata de producción cárnica, pero también podría ser de interés para adaptarse a la normativa peruana de registro genealógico que exige un tamaño mínimo. Se concluye la necesidad de tener en cuenta diversos caracteres mediante índices de selección apropiados si el objetivo de selección es múltiple. El tercer trabajo estuvo enfocado a evaluar la influencia de los estados fisiológicos de lactación y gestación sobre caracteres de fibra. Se utilizó la información de 2.413 alpacas mayores de 3 años de edad, que contaban con 8.648 y 2.410 registros para los ecotipos *Huacaya* y *Suri* respectivamente. Se agruparon las hembras en vacías, gestantes, lactantes, gestantes y lactantes simultáneamente, y se consideró también un grupo de machos. Los resultados mostraron que existía una alta influencia del estado fisiológico sobre los caracteres de fibra, en donde la lactación era la más relevante, pudiendo explicar en gestantes una disminución de 1,2 y 1,0  $\mu\text{m}$  del diámetro para los ecotipos *Huacaya* y *Suri* respectivamente, en comparación a las no lactantes. Se concluyó que debía incluirse el estado fisiológico como efecto fijo dentro de los modelos para la estimación de parámetros genéticos y la predicción de valores mejorantes. Esta Tesis Doctoral mostró que existen caracteres funcionales y secundarios candidatos



a ser incorporados como criterios de selección en programas de mejora en alpacas. La mejora genética de los caracteres reproductivos no sólo mejoraría la productividad de las explotaciones sino que contribuiría a una mayor respuesta a la selección mediante el incremento de la intensidad de selección. La inclusión del peso al destete abriría la entrada a la participación en programas de mejora de productores interesados en la producción cárnica. Las correlaciones genéticas estimadas recomendarían el uso de índices de selección apropiados tras un estudio previo de su ponderación deseada, pero también informan sobre la necesidad de reconsiderar los criterios nacionales para el registro de animales. Finalmente, la inclusión de los estados de lactación y gestación serían tomados en cuenta en los modelos de evaluación genética. Todo ello redundaría en un aceleramiento del progreso genético con repercusión económica favorable en las ganaderías, con el consiguiente incremento en el bienestar de una población de ganaderos que se encuentra en la actualidad en niveles de subsistencia.





## I. INTRODUCCION





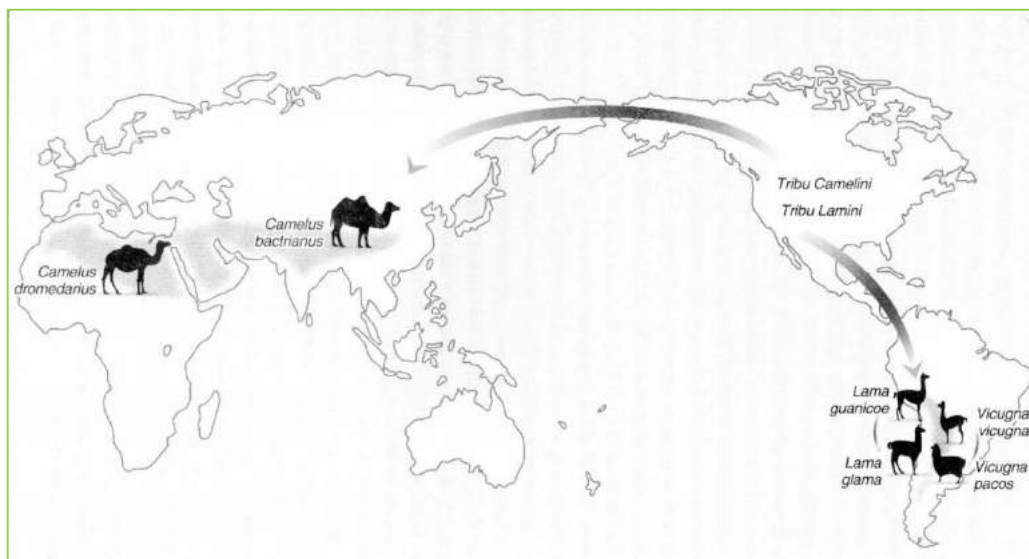


### 1.1. Origen de la Familia Camelidae

La familia *Camelidae* tiene probablemente su origen hace unos 40 millones de años en América del Norte con la aparición de un grupo de mamíferos denominados *Protylopus petersoni*, de estatura pequeña no mayor de 80 cm, los cuales, por procesos evolutivos y de especiación, dieron origen 20 millones de años más tarde a 4 tipos de camélidos *Titanotylopus*, *Megatylopus*, *Hemiauchenia* y *Paracamelus*, siendo este último el antecesor de las especies como el *Gigantocamelus* y *Alticamelus*. El *Alticamelus*, según el tamaño de fósiles encontrados podía llegar a medir hasta 5 metros de altura, y es probablemente el antecesor de la tribu *Camelini*, lo que nos remonta entre 9 a 11 millones de años atrás donde a la vez también coexistía la tribu *Lamini* (Robert, 2010).

El origen de los camélidos actuales se remonta a hace 3 millones de años, donde la tribu *Camelini* inicia la migración hacia Asia y Europa a través del puente del Estrecho de Bering (Figura 1), dando origen a los camélidos del viejo mundo: el camello (*Camelus bactrianus*) y el dromedario (*Camelus dromedarius*) (Webb, 1965, 1974). Hace aproximadamente dos millones de años, también emigraron descendientes de la tribu *Lamini* hacia América del Sur, dando origen a dos camélidos, hasta hoy silvestres, denominados guanaco y vicuña (López Aranguren 1930; Cabrera 1931 y 1935). No quedan especies oriundas de ninguna de las especies precedentes tanto a los camellos como a los camélidos sudamericanos en América del Norte, ya que se extinguieron presumiblemente por los cambios drásticos de la flora que los alimentaba, la competencia con otros animales ramoneadores y el cambio climático (Heintzman *et al.*, 2015).

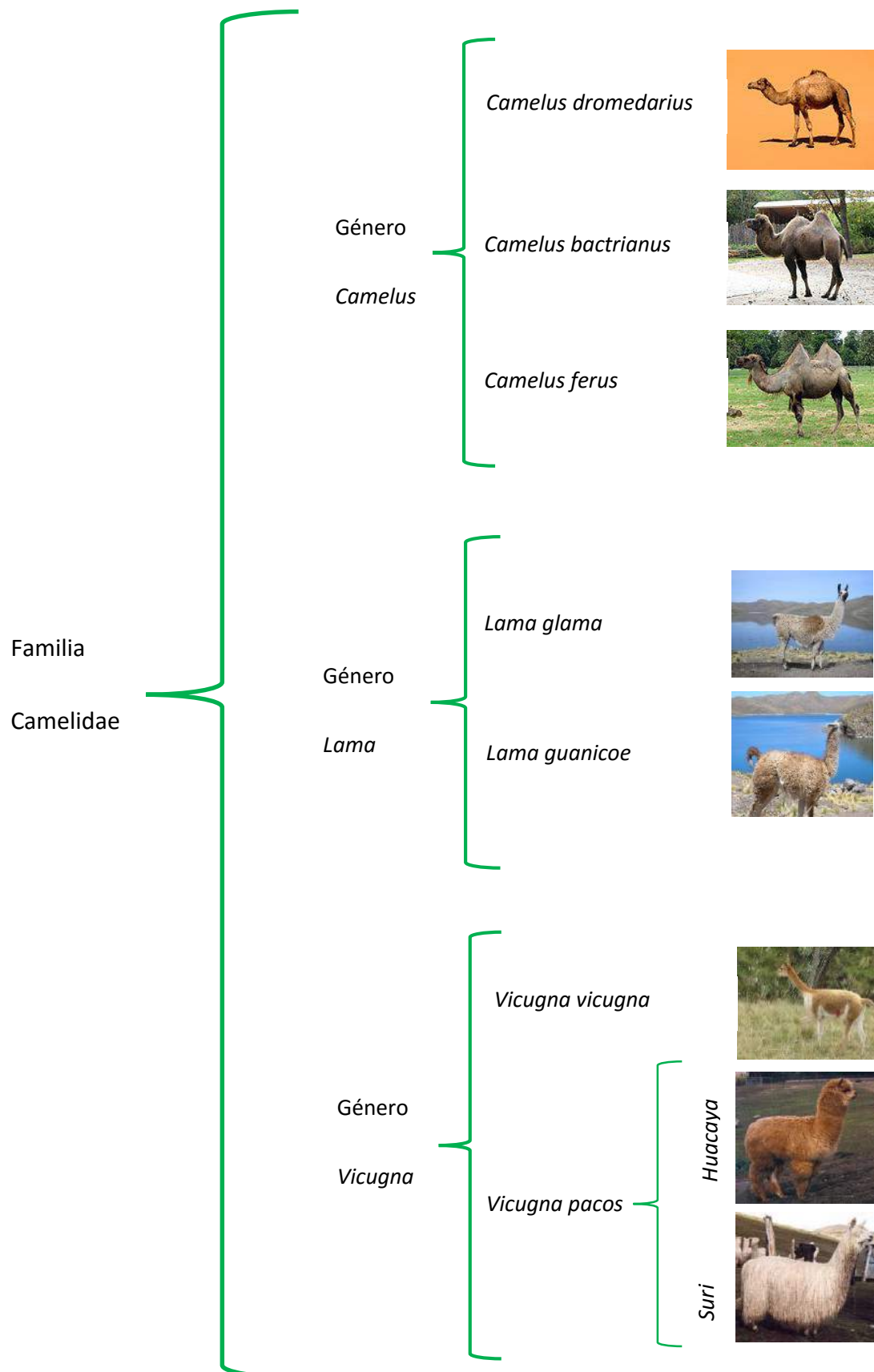
**Figura 1:** Origen y evolución de los camélidos sudamericanos.



Los camellos, dromedarios y camélidos sudamericanos comparten un origen común (Figura 2). Pertenecen a la misma familia y se distribuyen en 3 géneros (*Camelus*, *Lama* y *Vicugna*) y 7 especies. Los tres géneros tienen el mismo número diploide de cromosomas de 74 pares, lo que hace que exista fertilidad interespecífica entre los 3 géneros y las 7 especies. En el caso de los camélidos sudamericanos estos cruces se pueden dar de forma artificial, pero también de forma natural al compartir hábitats comunes. Las denominaciones para los cruces entre Llama y alpaca son “huarizo” y “misti” dependiendo de cual actúe como macho. El cruce entre alpaca y vicuña se conoce como “pacovicuña”, y el cruce entre llama y guanaco se denomina “guanacollama”. Al primer híbrido entre un dromedario y un guanaco se le denominó “rama” y a los híbridos entre el camello y la llama se les denomina “cama”, aunque estos últimos no se dan de forma natural. Todos los híbridos son fértiles y pueden cruzarse con cualquier otra especie tanto de camélidos como de camellos.



**Figura 2:** Esquema de clasificación de la familia Camelidae



### 1.2. Camellos y Dromedarios

Los camellos y dromedarios son más grandes y pesados que sus parientes sudamericanos. Cuando nacen pueden alcanzar un peso aproximado de 35 Kg, y alcanzan la edad reproductiva, a los seis años los machos, y a partir de los tres años la hembras. Tienen un sistema digestivo propicio que les permite digerir y aprovechar la mayor cantidad de nutrientes de las plantas y además tienen la capacidad de almacenar proteínas en sus respectivas jorobas, lo que les permite desplazamientos largos sin comida y bebida por varias semanas. De los camellos y dromedarios se puede aprovechar tanto la carne como la leche y la fibra, además de poder ser utilizado como medio de transporte. El mundo textil de la fibra del camello y dromedario es más limitado que el de otras especies productoras de pelos finos, ya que su pelaje posee doble capa, con una capa de fibra y otra de pelos fuertemente medulados o cerdas, por lo que el vellón necesita ser descerdado previamente a la confección de textiles. La fibra del camello es de menor diámetro en comparación al dromedario. Las prendas resultantes poseen un tacto desagradable sobre la piel para el consumidor, pero tienen un espacio importante en el mercado de alfombras, mercado en el que se ha posicionado excelentemente gracias a las propiedades físicas de su pelo.

### 1.3. Camélidos Sudamericanos

Existen 4 especies de camélidos sudamericanos, dos especies silvestres, el guanaco (*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*), y dos especies domésticas, la llama (*Lama glama*) y la alpaca (*Vicugna pacos*). La población de camélidos en Sudamérica se distribuye principalmente en cinco países, con la mayor población de guanacos al sur de Argentina, la mayor población de llamas en la región altiplánica de Bolivia, y siendo Perú donde se encuentra la mayor población de alpacas y vicuñas, mientras que Chile y Ecuador poseen censos comparativamente muy reducidos de las cuatro especies.

Al habitar las zonas más agrestes donde otras especies son incapaces de prosperar y proporcionar beneficios económicos, los camélidos se han adaptado, tanto en su morfología como en su comportamiento reproductivo, acortando su

periodo reproductivo a los meses de diciembre a marzo, coincidiendo el parto con la abundancia de pastos ricos en proteínas para la producción de leche, y con la aparición de hierba fresca que puede ser aprovechada por los recién nacidos.

La fibra de los camélidos tiene propiedades textiles tan variadas que se pueden producir todo tipo de prendas. Aunque la fibra de los guanacos es muy fina, presenta poseer doble capa que necesita descordarse previamente. Lo mismo ocurre con la vicuña, pero es esta última la que mundialmente posee el menor diámetro de fibra, entre 12 y 14  $\mu\text{m}$ , aunque en volúmenes pequeños, ya que cada vicuña produce sólo de 200 a 300 gramos cada dos años. Estas dos especies se encuentran en peligro de extinción en Perú, clasificándose como tales en estado vulnerable en los apéndices I y II de la convención CITES<sup>1</sup>. Por ello no es posible aún comercializar los subproductos de estas especies, ni tampoco pueden ser considerados en planes de manejo zootécnicos. Únicamente se contempla su conservación en Áreas Naturales Protegidas o Áreas de Conservación a través de Comités de Uso Sostenible. En cambio en la llama y la alpaca se puede aprovechar todo el animal, la fibra para productos textiles, la carne para consumo en fresco y seco, las vísceras para el autoconsumo y el cuero para peletería. Incluso existen alternativas para que los subproductos cárnicos puedan elaborarse en pellets como alimentos para truchas.

### **1.3.1. Clasificación taxonómica de la Alpaca**

Franklin (1982), estudió las diferencias y similitudes entre las cuatro especies de camélidos sudamericanos. Mediante comparaciones sociológicas, conductuales y morfológicas entre el guanaco y la vicuña, concluye que no es posible aclarar su evolución, siendo la hipótesis más verosímil la que establecería que el guanaco o su antecesor, daría origen a la llama mediante un largo proceso de domesticación, hipótesis que se refuerza por el gran parecido morfológico entre ambos. En cambio, la derivación de la alpaca no es tan fácil de explicar, debido a que la alpaca es semejante a la vicuña en ciertos caracteres morfológicos y de comportamiento, pero

---

<sup>1</sup> Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres

también similar a la llama y al guanaco en lo que respecta a la morfología del cráneo.

La primera clasificación de la alpaca se remonta a lo propuesto por el zoólogo sueco Linnaeus en 1758 que clasificó la especie como *Camelus pacos*. Poco después, Cuvier, en 1800, propone el género *Lama* para describir a la llama y alpaca. Posteriormente, con la intención de que la clasificación taxonómica reflejara la historia evolutiva, Illiger en 1811 la denomina *Auchenia* refiriéndose como auquénidos a todo el grupo de camélidos. Fue tan popularmente utilizado, que incluso Ameghino, en 1880, la denomina *Auchenia sp.*, imponiéndose sobre el término *Lama* anteriormente propuesto por Cuvier. Sin embargo, el término *Auchenia* había sido previamente utilizado para clasificar un grupo de escarabajos, por lo que fue descartado, manteniéndose *Lama pacos* hasta 2001, cuando las conclusiones de Kadwell *et al.* (2001) conducen a su reclasificación como *Vicugna pacos*. La clasificación taxonómica actual tras aceptar las diferentes propuestas por resoluciones de la comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica, se muestra en la Tabla 1 (Vilá, 2012).

**Tabla 1:** Clasificación taxonómica de los camélidos sudamericanos

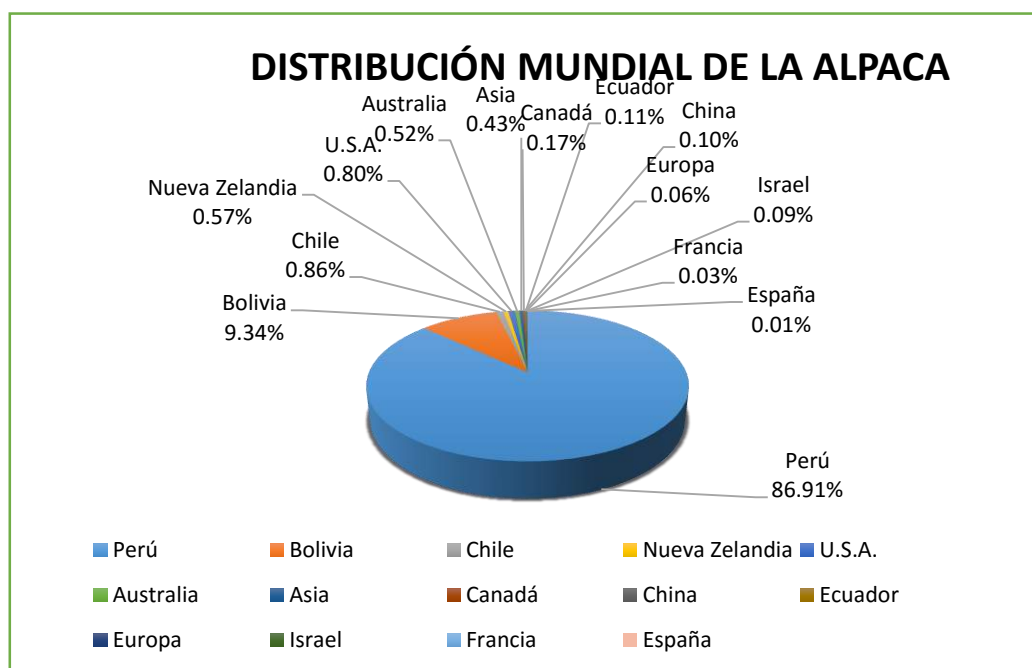
| Clasificación    |                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Clase</b>     | Mammalia (Owen, 1848)                                                                                                                                                                                 |
| <b>Orden</b>     | Artiodactyla (Owen, 1848)                                                                                                                                                                             |
| <b>Sub Orden</b> | Tylopoda (Illiger, 1811)                                                                                                                                                                              |
| <b>Familia</b>   | Camelidae (Gray, 1821)                                                                                                                                                                                |
| <b>Tribu</b>     | Lamini (Webb, 1965)                                                                                                                                                                                   |
| <b>Géneros</b>   | <i>Lama</i> (Cuvier, 1800)<br><i>Vicugna</i> (Gray, 1872)                                                                                                                                             |
| <b>Especies</b>  | Guanaco: <i>Lama guanicoe</i> (Muller, 1776)<br>Llama: <i>Lama glama</i> (Linneo, 1758)<br>Vicuña: <i>Vicugna vicugna</i> (Molina, 1782)<br>Alpaca: <i>Vicugna pacos</i> (Kadwell <i>et al.</i> 2001) |

(Fuente: Vilá, 2012)

### 1.3.2. Distribución geográfica de la Alpaca

La población de alpacas previa a la conquista se distribuía únicamente en América del Sur. Su comportamiento, docilidad, y su capacidad innata como animal productor de fibra, ha llevado a esta especie a distribuirse por todo el mundo, despertando interés en ocasiones como animal exótico. Por ello, se ha distribuido por de todo el planeta, no sólo para aprovechar su fibra, sino también para ser exhibido como mascota. Al no haber un acuerdo sobre el nivel de pureza de la alpaca, su censo es difícil de establecer, pero los volúmenes de producción textil permiten estimar que la población mundial de alpacas sería de alrededor de cinco millones de animales, aunque las inferencias y el último censo reporten una población de 3,5 millones de cabezas. Perú es el país con mayor censo de alpacas, con aproximadamente el 86,91%, seguido por Bolivia con el 9,34% (Figura 3). A nivel nacional, en Perú la alpaca se distribuye en 18 de las 24 regiones definidas (llamadas departamentos), teniendo la mayor población animal el departamento de Puno (58,5%), seguido por Cuzco (11,4%), Arequipa (9,4%), Huancavelica (6,8%) y Ayacucho (4,6%), y el resto distribuido en los otros 13 departamentos. Como curiosidad, en España en 2011, la Sociedad Española De Alpacas (SEDA) estimaba una población de alrededor de 300 ejemplares.

**Figura 3:** Población y distribución mundial de la alpaca



(Fuente: MINAG - OIA 1999)

En general, las alpacas pueden habitar a cualquier altitud desde el nivel del mar, pero generalmente habitan en regiones altoandinas, a altitudes incluso superiores a 5.000m, a lo largo de más de 3.000 km de cordillera, desde Ecuador hasta el extremo norte de Chile y el noreste de Argentina. En este espacio geográfico existen fuertes fluctuaciones de temperaturas y precipitaciones constituyéndose de esta manera en una de las limitaciones más importantes para el desarrollo pecuario y agrícola. Sin embargo la producción de alpacas constituye la principal actividad económica que prospera en este nicho ecológico, ya que la alpaca se puede aclimatar a diferentes ecosistemas. De hecho, en la época precolombina existían grandes hatos de camélidos aclimatados a muy diversas zonas fuera de las regiones andinas, incluyendo llanuras y áreas costeras, como lo demuestran los estudios arqueológicos de Jones y Bonavia (1992). Fue la llegada de los conquistadores españoles la que desplazó estas especies a zonas de altura para ocupar espacios más favorecidos con especies procedentes del viejo mundo.

### **1.3.3. Ecotipos, razas, subespecies, variedades o líneas**

Se encuentran dos variedades de alpaca claramente diferenciadas de acuerdo a las características físicas de la fibra, una llamada *Huacaya* y otra *Suri*. Esta diferenciación ha llevado a controversia sobre la clasificación de los dos grupos para constituir razas, subespecies, ecotipos, variedades o líneas, para describir las diferencias entre ambas. El modo de herencia del fenotipo *Suri/Huacaya*, aún no esclarecido completamente, no permite establecer cómo debería llevarse a cabo esta clasificación.

Una primera hipótesis de recesividad del *Suri* (Calle, 1984) ha sido abandonada en favor de una hipótesis de dominancia simple que había sido propuesta anteriormente por Velasco (1980) más ampliamente aceptada. Ponzoni *et al.* (1997) corroboraron la validez de ese modelo de herencia pero advirtieron que también era compatible con una herencia basada en grupos de genes ligados, mientras que Baychelier (2000) probó tres hipótesis de herencia, concluyendo que la más verosímil era la que consideraba dos genes ligados. Renieri *et al.* (2009)

explican que el fenotipo *Suri* podría ser explicado por un solo gen con dos alelos autosómicos, con una tasa de mutación aun no explicada, mientras que Sponenberg (2010) concluye que el fenotipo *Suri* corresponde a un único gen autosómico dominante que está sujeto a la supresión por genes modificadores para el fenotipo *Suri*. El modelo aceptado en la actualidad es el propuesto por Presciuttini *et al.* (2010) como conclusión de sus experimentos de cruzamientos, que le llevaron a rechazar el modelo de un único gen autosómico para sugerir un modelo genético en el cual dos *loci* ligados deben aparecer simultáneamente en homocigosis recesiva para dar el fenotipo *Huacaya*. Cualquier otro genotipo daría lugar a fenotipos *Suri*.

Estas consideraciones llevan a una denominación no resuelta. La denominación de raza quedaría descartada, ya que los cruces de dos animales de fenotipo *Suri* pueden segregar *Huacaya*, y aunque excepcionalmente, también puede darse el sentido contrario. La clasificación más utilizada en la actualidad define estos grupos como ecotipos, y así serán tratados a lo largo de este texto, dado que la *Suri* tiende a encontrarse en ecosistemas de menor altitud por su menor resistencia, pero incluso esta clasificación parece desacertada.

#### **1.3.3.1. Ecotipo Huacaya**

Alrededor del 85% de las alpacas pertenecen a este ecotipo, caracterizado por presentar una cabeza relativamente pequeña bien unida a un cuello mediano y fuerte, con orejas pequeñas de forma triangular, ollares amplios y boca con belfos muy móviles con pigmentación oscura. Presentan un copete bien formado y la cara limpia, la línea superior convexa que continúa hasta la cola, extremidades fuertes y buenos aplomos, lo que proporcionan una fina estampa armoniosa. La fibra presenta rizos que le proporcionan una apariencia esponjosa (Figura 4).

**Figura 4:** Alpaca blanca ecotipo Huacaya



#### **1.3.3.2. Ecotipo Suri**

El otro 15% aproximadamente corresponden a este ecotipo cuyo nombre deriva del *Aimara*<sup>2</sup>, *Suri*, que fue asignado inicialmente al ñandú andino (*Pterocnemia pennata*), ave silvestre local que mueve las alas al correr de tal manera que deja ver las elegantes y brillantes plumas que reflejan con al sol. Los *aimaras* le asignaron este nombre por similitud a la elegancia de la fibra que cae desde el lomo al suelo. La teórica mutación hace que muestre una imponente refractancia a la luz. Esta característica podría responder al relieve de las escamas de la fibra que tiene menos de 0,08  $\mu\text{m}$  en comparación al relieve de la fibra de *Huacaya* que tiene 0,20 a 0,35  $\mu\text{m}$  ([www.aplf.com](http://www.aplf.com); SUPRAD, 2009), mucho menor que otras especies. El ecotipo *Suri* es más pequeño que el *Huacaya* y menos resistente para soportar condiciones medio ambientales extremas, por lo que su

---

<sup>2</sup> Lengua local, asociada a la etnia del mismo nombre



población se desarrolla a una menor altitud. Por ello los antiguos habitantes la denominaron también “*chilipaqucha*” cuyo significado proviene del aimara *chili* que significa “lo más hondo”, mientras que *paqucha* proviene del *quechua* (otra lengua local asociada a la etnia indígena del mismo nombre) que significa “alpaca”, y cuya conjugación significaría “alpaca de zonas más bajas” u “hondonadas”. La ausencia de rizos en el *Suri* (Figura 5) le da a la fibra una mayor suavidad y brillo, pero al mismo tiempo una menor aptitud para el hilado.

**Figura 5:** Alpaca blanca ecotipo Suri



#### 1.3.4. Color de la capa

La alpaca es el único camélido que posee una variada y alta gama de colores (Figura 6). Morante *et al.* (2009) menciona que pueden describirse hasta 22 tonalidades de color incluyendo el blanco. La finca experimental Pacamarca las agrupa en 9 tonalidades básicas (Tabla 2) que van desde el blanco, pasando por

los beige (LF<sup>3</sup>) y marrones hasta llegar al negro, existiendo incluso una tonalidad mixta denominada gris. Lauvergne *et al.* (1995), hace, una lista de la variación de colores y describen seis patrones pigmentados, dos tipos eumelánicos, tres alteraciones y un patrón de manchas blancas.

**Figura 6:** Variabilidad de tonalidades en el color de capa (ecotipo Huacaya)



En cuanto a la proporción de colores en los rebaños, la capa es predominantemente blanca en un 60%, mientras que los colores intermedios diferentes del negro y del blanco abarcan un 32%, siendo un 8% de color de capa negro. Esta proporción es consecuencia de la selección artificial más reciente, ya que anteriormente la mayor población de alpacas era de color incluyendo el negro y en menor cantidad la alpaca de capa blanca. El cambio obedece a la demanda del mercado de la fibra, en el que la alpaca blanca es más solicitada que la alpaca de color por ser la única que se tiñe fácilmente a cualquier tonalidad.

Referente a la herencia del color, Bustinza (1968) concluye que el blanco es dominante sobre el negro, mientras que Gandarillas (1971) sugiere que el blanco es el recesivo, pudiendo ser el negro dominante o recesivo sobre el marrón. Velasco *et al.* (1978a y 1978b) concluyen que el manchado sería el recesivo del color sólido. Renieri *et al.* (2004) describen una clasificación de recesivos y dominantes para los grupos eumelánicos, feomelánicos y los silvestres y Valbonesi

---

<sup>3</sup> Light Fawn, que de acuerdo a la intensidad se las puede agrupar como X, Y y Z para dar colores claros como el LFX, intermedios como el LFY e intensos LFZ como la vicuña.

*et al.* (2011) indican que el blanco es controlado por un solo gen que es dominante sobre los pigmentados. No parece existir dominancia entre los colores marrón y negro, similarmente a lo encontrado por el mismo grupo de trabajo en ovino (Renieri *et al.*, 2008). Estos autores comentan que los análisis de segregación resultan muy complicados al existir aparentemente muchos errores en el registro de los colores de la capa de los animales, ya que el color de la fibra en algunos casos es distinto al color de la piel. Por ellos sería necesario medir la variación cuantitativa de la melanina como se hace en llamas (Cecchi *et al.*, 2007).

**Tabla 2:** Agrupación y denominación de colores básicos según la Finca experimental Pacamarca.

| Intensidad    | Color básico | Descripción               |
|---------------|--------------|---------------------------|
| <b>Blanco</b> | B            | Blanco                    |
| <b>Cremas</b> | LFX          | Light Fawn intensidad "X" |
|               | LFY          | Light Fawn Intensidad "Y" |
|               | LFZ          | Light Fawn Intensidad "Z" |
|               | CC           | Café Claro                |
|               | COM          | Café Oscuro Marrón        |
|               | CON          | Café Oscuro Negro         |
|               | G            | Gris, Roano, Api          |
| <b>Negro</b>  | N            | Negro                     |

En la búsqueda de genes concretos relacionados con el color de capa, Powell *et al.* (2008) encontraron el mismo receptor de melanocortina 1 (MC1R) tanto en alpacas de marrón claro como oscuro, concluyendo que el genotipo para este gen de ambos fenotipos sería el mismo. Cransberg y Munyard (2011) analizaron el efecto de genes de dilución como el TYR (Tirosina) y el MAPT (proteína asociada al transporte de la membrana) que se asocia al color de capa en otras especies, pero no encontraron este efecto en alpacas. Cransberg *et al.* (2013) mostraron que las melaninas de las alpacas marrones eran predominantemente feomelaninas con cantidades pequeñas de eumelaninas. Al parecer el color de la capa de las alpacas podría estar afectado por multitud de genes de tipo cuantitativo además de los principales ya mencionados.

### 1.3.5. La reproducción en alpacas

La reproducción en alpacas presenta varias peculiaridades que conviene resaltar. La época reproductiva de las alpacas en Perú tiene una estacionalidad muy marcada. Ocurre entre los meses de diciembre a marzo coincidiendo con el verano y la época lluviosa con abundancia de pastos. Bajo el manejo habitual de los pequeños productores las hembras y los machos pastorean juntos durante el resto del año, porque el apetito sexual de los machos disminuye, dándose una convivencia entre sexos sin que se produzcan apareamientos. En cambio, cuando se mantienen separados y se juntan ocasionalmente, el apetito sexual despierta con mayor fuerza, apareando y reproduciéndose eficientemente. Este manejo es habitual en Estados Unidos dando como consecuencia una mayor tasa de natalidad, que se da entre los meses de junio a noviembre, ya que la duración de la gestación en alpacas es de once meses.

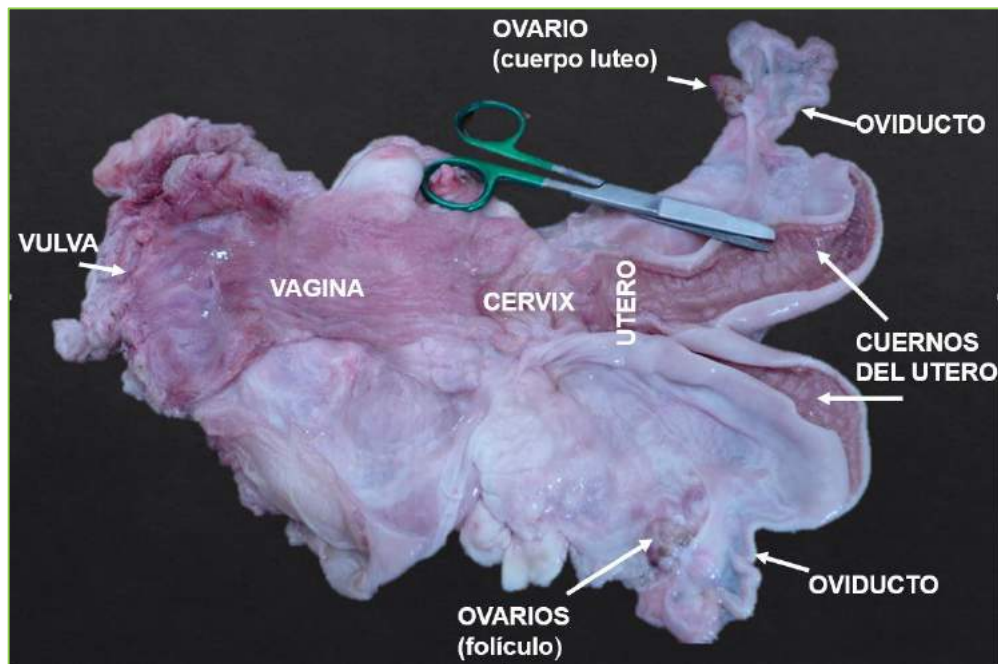
Una particularidad de la alpaca es que la hembra posee ovulación inducida como respuesta a la cópula, durante la cual, la glándula pituitaria descarga la Hormona Luteinizante (LH) al torrente sanguíneo (Fernández-Baca *et al.*, 1970; Bravo *et al.*, 1990), desencadenando la ovulación entre 30 a 72 horas post coito (Sumar *et al.*, 1993). Además de esta descarga hormonal propia de la hembra, el plasma seminal parece también tener un rol importante en la ovulación a través de un compuesto aún desconocido denominado “*Factor Inductor de la Ovulación*” (Adams and Ratto, 2013). Se han probado diferentes hipótesis sobre el desencadenante de la ovulación, siendo la presencia de macho con cópula y coito las que mayores tasas de fertilización presentan (Bravo *et al.*, 1990). En los casos en los que no exista fecundación, el ciclo de la onda folicular puede desarrollarse entre los 10 y 12 días siguientes (crecimiento de los folículos de Graff, maduración y regresión folicular), por lo que los apareamientos pueden intentarse 14 días después (León, 2009).

La anatomía de los órganos reproductivos es similar entre todos los camélidos, tanto en el caso del aparato reproductor femenino como el masculino. En el caso de las hembras (Figura 7) se muestra el inicio con los labios vaginales,

seguido por la vulva, que da inicio al canal de la vagina, continúa con la cérvix, que tiene entre 3 y 4 pliegues anulares y mide entre 2 a 3 cm, y que da inicio al cuerpo del útero. Éste es muy pequeño. Mide 1,5 cm de largo y 2 cm de ancho (León, 2009), y se abre en dos cuernos uterinos desembocando en los oviductos. En sus terminaciones se encuentra el infundíbulo que comunica con el ovario (Sumar, 1996). Éste es liso en alpacas jóvenes, mientras que en alpacas en edad reproductiva es de superficie irregular por la presencia de folículos y cuerpos lúteos. Puede medir alrededor de 15 mm de ancho por unos 9 mm de espesor. Por lo general el ovario izquierdo pesa 0,5 g más que el ovario derecho, y estos pueden pesar entre 1,9 y 2,4 g en ausencia de folículos o cuerpos lúteos (León, 2009). Todo el aparato reproductor se encuentra sujeto dentro del ligamento ancho que proporciona el soporte interno.

Las técnicas asistidas de reproducción no han aportado mucho en este sector. La fecundación *in vitro*, la transferencia de embriones y la inseminación artificial tiene aún muchas limitantes que no se pueden emplear como técnicas intensivas de reproducción (Ruiz *et al.*, 2013). La inseminación artificial, tanto con semen fresco como con semen congelado, que en otras especies es una técnica intensiva de ayuda reproductiva, en la alpaca está en sus inicios. En consecuencia, aún es necesario la cópula (Bravo, 2014), donde cada macho sólo puede asegurar la fertilidad hasta de dos hembras por día de servicio. La técnica de la transferencia de embriones tiene una ligera ventaja sobre la inseminación artificial. Se lleva a cabo con superovulación, e inseminación con semen fresco. Sin embargo al parecer el método de la sincronización con monta natural con ovulación simple mostraría mejores resultados (Sumar, 2013; Vaughan *et al.*, 2013). En ambos casos los resultados no son tan alentadores como para llevar programas intensivos asistidos por inseminación y transferencia de embriones.

**Figura 7:** Anatomía del aparato reproductor de la hembra de alpaca



#### 1.3.6. Aptitud cárnica

Si bien la mayoría de los esquemas productivos de camélidos sudamericanos están enfocados a la producción de fibra, la llama y la alpaca muestran buenas propiedades cárnicas, tanto físicas como químicas. Actualmente la mayor producción de carne es principalmente para consumo local y el autoconsumo en fresco o en seco llamado *charqui*<sup>4</sup>. Uno de los limitantes para su comercialización es la falta de infraestructura sin que existan apenas mataderos certificados para la distribución en las zonas altoandinas o a lugares más lejanos. Los que existen son escasos y lejanos de las zonas productivas con comunicaciones deficientes, por lo que el campesinado sacrifica en mataderos clandestinos que destinan las canales a mercados locales. Aquellos que tienen la oportunidad de hacer uso de mataderos certificados han encontrado grandes ventajas económicas por la aceptación de la carne.

---

<sup>4</sup> Charqui, deriva del vocablo Aimara que significa seco, en carne de alpaca se refiere a la carne deshidratada por salazón.



La carne fresca y el charqui tienen mejores propiedades físicas y químicas que otras carnes rojas. El porcentaje de proteínas de la alpaca es del 22,69% en la carne fresca y del 57,42% en el charqui, mientras que el porcentaje de grasa de la carne fresca de alpaca es del 1,10% y del charqui 3,92%. Destaca su alto contenido de hierro, en especial en el charqui, convirtiéndose en una fuente rica de proteínas y minerales a bajo costo en los pueblos andinos (Salvá *et al.* 2009 y 2012). Presenta además un bajo porcentaje en colesterol, alrededor de 54,1 mg/100gr, lo que hace de la carne de alpaca un producto saludable (Cristofanelli *et al.* 2004). En cuanto a la ternura y fibra de la carne de camélidos, la carne de alpaca es mucho más tierna y menos fibrosa que la de llama. Asimismo las características organolépticas son mejores en la alpaca, lo que influye favorablemente en la elección del consumidor. Sin embargo existe influencia del tipo de pasto consumido sobre los olores emanados de la carne, por lo que es importante disminuir el tipo de pastos de tipo tolar (*Parastrephia sp.*) antes del sacrificio (Raggi, 2015). Por otro lado muestra muy buenos rendimientos a la canal, de hasta 54.3% del peso vivo (Smith *et al.* 2015).

#### **1.3.7. Normas legales peruanas relacionadas con la producción de alpacas**

El marco legal para el manejo de los camélidos sudamericanos es independiente para las especies silvestres de las domésticas. Las silvestres están reguladas por la Dirección General de Fauna y Flora Silvestre mientras que las domésticas las regula la Dirección de Promoción Agraria. Ambas Direcciones se enmarcan bajo el paraguas del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.

La normatividad referente a la producción alpaquera se ha centrado en el aprovechamiento de la fibra. Para ello se han desarrollado Leyes, Decretos y Disposiciones Transitorias que permitan establecer procedimientos para la conducción, monitoreo y supervisión de los programas productivos (Tabla 3). Entre los principales programas productivos se encuentran aquellos referidos a la mejora genética para la producción de fibra fina.

**Tabla 3:** Marco Legal que regula las actividades pecuarias de alpacas en Perú.

| Norma Legal                 | Descripción                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ley 653</b>              | Ley de la Promoción de las inversiones en el sector agrario, En esta Ley el estado fomenta e incentiva la investigación principalmente en el Mejora Genética   |
| <b>D.S. 040-85-AG</b>       | Decreto Supremo que aprueba el reglamento general de los registros genealógicos zootécnicos de Perú                                                            |
| <b>D.S. 023-95-AG</b>       | Decreto Supremo que aprueba el reglamento de los registros genealógicos de alpacas de las razas <i>Huacaya</i> y <i>Suri</i>                                   |
| <b>D.S. 026-95-AG</b>       | Decreto Supremo que crea el Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos – CONACS                                                                               |
| <b>R.J. 022-95-AG</b>       | Resolución Jefatural que delimita la jurisdicción donde tendrán competencia los registros genealógicos a nivel regional                                        |
| <b>D.S. 012-97-AG</b>       | Decreto Supremo que autoriza al CONACS para la conducción de los registros genealógicos de alpacas en el territorio nacional                                   |
| <b>Ley 28041</b>            | Ley que promueve la cría, producción, comercialización y consumo de los camélidos sudamericanos: Alpacas y llamas                                              |
| <b>D.S. 024-04-AG</b>       | Decreto Supremo que aprueba el reglamento de la Ley 28041 de la línea previa                                                                                   |
| <b>Ley 28350</b>            | Ley que promueve la mejora genética y conservación de las razas de camélidos sudamericanos                                                                     |
| <b>D.S. 022-05-AG</b>       | Decreto Supremo que aprueba el reglamento de la Ley 28350 de la línea previa                                                                                   |
| <b>D.S. 025-05-MINCETUR</b> | Decreto Supremo que aprueba la estrategia nacional de identificación de los productos bandera y la comisión de productos bandera – COPROBA                     |
| <b>D.S. 029-05-AG</b>       | Decreto Supremo que aprueba la estrategia nacional de desarrollo de camélidos domésticos en Perú                                                               |
| <b>R.M. 281-09-AG</b>       | Resolución Ministerial que aprueba que las regiones agrarias incorporen en sus procedimientos administrativos el manejo y certificación de alpacas registradas |
| <b>D.S. 013-11-AG</b>       | Decreto Supremo que aprueba el reglamento de los registros genealógicos y estándares raciales de alpacas y llamas (ANEXO)                                      |

El Peruano: [www.elperuano.gob.pe](http://www.elperuano.gob.pe)

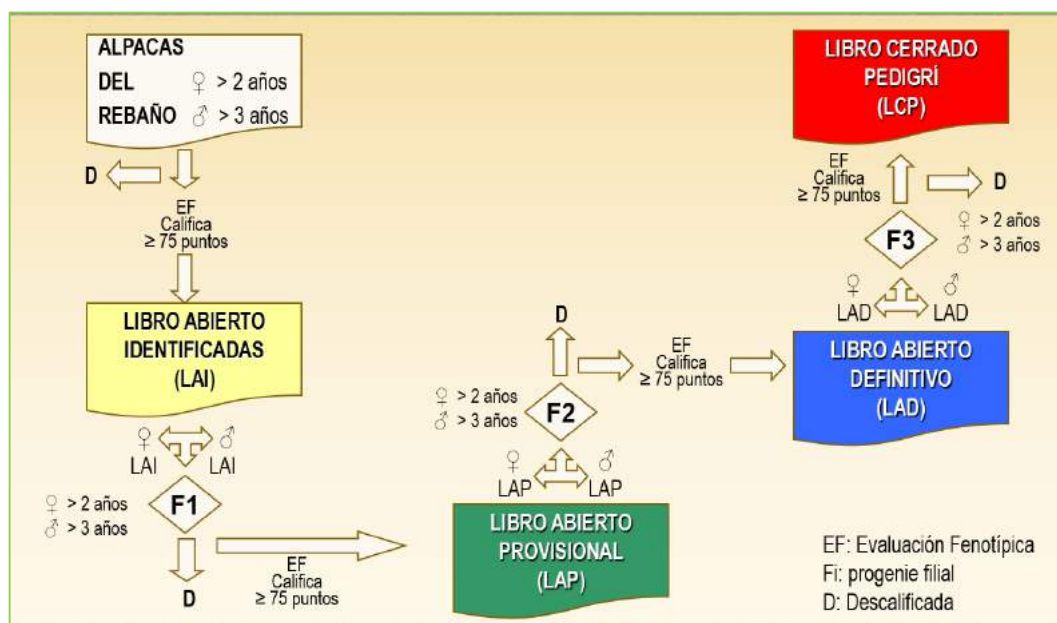
Es el último Decreto Supremo de la Tabla 3, el documento rector que estandariza las técnicas para la evaluación y registro de alpacas y llamas (ANEXO). Asimismo realiza una descripción de los estándares morfológicos del animal como



descriptores de raza, y en su artículo 18 sugiere registrar los animales en libros genealógicos únicamente cuando estos acumulen un mínimo de 75 puntos de un total de 100 (Figura 8). Los libros genealógicos utilizados son 4 y se denominan:

- A) Libro Abierto de Identificadas – LAI: Los animales utilizarán un crotal de color Amarillo.
- B) Libro Abierto Provisional – LAP: Los animales utilizarán un crotal de color Verde.
- C) Libro Abierto Definitivo – LAD: Los animales utilizarán un crotal de color Azul.
- D) Libro Cerrado de Pedigrí – LCP: Los animales utilizarán un crotal de color Rojo.

**Figura 8:** Esquema de registro genealógico de alpacas según el D.S. 013-2011-AG



Para inscribir los animales en los respectivos libros, éstos deberán tener al menos tres años los machos y al menos dos años las hembras. Sólo pueden aparearse animales inscritos en el mismo libro empezando por el LAI. Los descendientes de estos animales pueden inscribirse en el libro LAP siempre y cuando en la calificación acumulen los 75 puntos. De igual manera, sólo pueden

aparearse animales del libro LAP, cuya progenie podrá inscribirse en el libro LAD en el que caso de que reúnan los 75 puntos, pudiendo finalmente después de 4 generaciones tener animales inscritos en el libro LCP. Todo esto es independiente de los datos productivos, ya que la evaluación para puntuar los animales no tiene en cuenta los rendimientos productivos, sino la evaluación subjetiva del fenotipo del animal.

**Tabla 4:** Descriptores de la raza Huacaya según el D.S. 013-2011-AG.

| Descriptor                          | Carácter                   | Evaluación              | Puntuación |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|
| <b>Vellón<br/>(70 puntos)</b>       | Finura<br>(40)             | Fina (< a 22 $\mu$ m)   | 31 – 40    |
|                                     |                            | Media (23 – 26 $\mu$ m) | 11 – 30    |
|                                     |                            | Gruesa (> a 26 $\mu$ m) | 0 – 10     |
|                                     | Densidad<br>(10)           | Alta                    | 8 – 10     |
|                                     |                            | Media                   | 4 – 7      |
|                                     |                            | Baja                    | 0 – 3      |
|                                     | Rizos<br>(05)              | Alto                    | 4 – 5      |
|                                     |                            | Medio                   | 2 – 3      |
|                                     |                            | Bajo                    | 0 – 1      |
|                                     | Uniformidad<br>(15)        | Alta                    | 11 – 15    |
|                                     |                            | Media                   | 6 – 10     |
|                                     |                            | Baja                    | 0 – 5      |
| <b>Conformación<br/>(30 puntos)</b> | Cabeza<br>(10)             | Buena                   | 8 – 10     |
|                                     |                            | Regular                 | 4 – 7      |
|                                     |                            | Mala                    | 0 – 3      |
|                                     | Talla<br>(10)              | Alta > a 80 cm.         | 10         |
|                                     |                            | Media 71 – 79 cm.       | 1 – 9      |
|                                     |                            | Baja < a 70 cm.         | 0          |
|                                     | Calce<br>(05)              | Bueno                   | 4 – 5      |
|                                     |                            | Regular                 | 2 – 3      |
|                                     |                            | Malo                    | 0 – 1      |
|                                     | Apariencia<br>General (05) | Buena                   | 4 – 5      |
|                                     |                            | Regular                 | 2 – 3      |
|                                     |                            | Mala                    | 0 – 1      |

En ambos ecotipos los descriptores de la raza no distinguen el color de la capa. Sin embargo, la forma de puntuar no es la misma en ambos ecotipos (llamados razas en la legislación peruana). Las tablas 4 y 5 describen la puntuación máxima en cada carácter en evaluación, observando diferencias importantes en la talla y la apariencia general de los animales.

**Tabla 5:** Descriptores de la raza Suri según el D.S. 013-2011-AG

| Descriptor                          | Carácter                   | Evaluación         | Puntuación |
|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|------------|
| <b>Vellón<br/>(70 puntos)</b>       | Finura<br>(40)             | Fina (< a 22 µm)   | 31 – 40    |
|                                     |                            | Media (23 – 26 µm) | 11 – 30    |
|                                     |                            | Gruesa (> a 26 µm) | 0 – 10     |
|                                     | Brillo o Lustre<br>(10)    | Alta               | 8 – 10     |
|                                     |                            | Media              | 4 – 7      |
|                                     |                            | Baja               | 0 – 3      |
|                                     | Rulos<br>(10)              | Definido           | 6 – 10     |
|                                     |                            | Intermedio         | 1 – 5      |
|                                     |                            | No definido        | 0          |
|                                     | Densidad<br>(05)           | Alta               | 4 – 5      |
|                                     |                            | Media              | 2 – 3      |
|                                     |                            | Baja               | 0 – 1      |
| <b>Conformación<br/>(30 puntos)</b> | Uniformidad<br>(05)        | Alta               | 4 – 5      |
|                                     |                            | Media              | 2 – 3      |
|                                     |                            | Baja               | 0 – 1      |
|                                     | Cabeza<br>(10)             | Buena              | 8 – 10     |
|                                     |                            | Regular            | 4 – 7      |
|                                     |                            | Mala               | 0 – 3      |
|                                     | Talla<br>(05)              | Alta > a 80 cm.    | 5          |
|                                     |                            | Media 71 – 79 cm.  | 1 – 4      |
|                                     |                            | Baja < a 70 cm.    | 0          |
|                                     | Calce<br>(05)              | Bueno              | 4 – 5      |
|                                     |                            | Regular            | 2 – 3      |
|                                     |                            | Malo               | 0 – 1      |
|                                     | Apariencia<br>General (10) | Buena              | 8 – 10     |
|                                     |                            | Regular            | 4 – 7      |
|                                     |                            | Mala               | 0 – 3      |

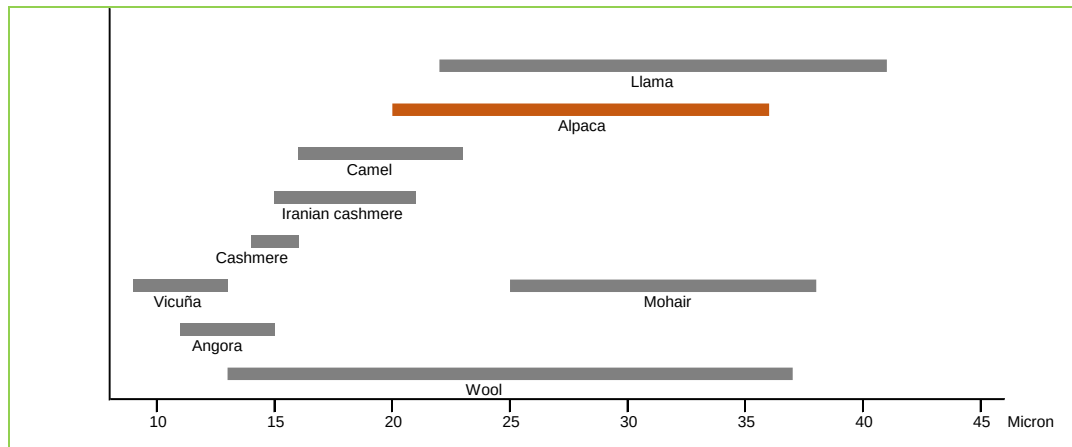
Como curiosidad, mencionar que en el artículo 27 de este reglamento se regula el registro de los apareamientos, definiendo una cópula válida como aquella de al menos 10 minutos de duración y sólo se podrá asignar la cría como hija del padre registrado en la cópula si el tiempo de gestación está en el rango de  $342 \pm 10$  días después de una cópula válida.

### 1.3.8. Valor textil de la fibra de alpaca

La fibra de alpaca, se encuentra dentro del grupo de fibras nobles (Figura 9), que se caracterizan por tener un enorme potencial para la elaboración de prendas, desde las más sofisticadas y suaves como la ropa interior, hasta la confección de alfombras elaboradas con calidades inferiores. Se considera que la calidad de la

fibra la proporciona su finura, pero el diámetro de la fibra tiene mucha variabilidad entre animales de la población de alpacas e incluso dentro de un mismo vellón de un mismo animal. Suelen estar en el rango de 20 a 36  $\mu\text{m}$ , pero en sus valores extremos podemos encontrar fibras de 1 a 60  $\mu\text{m}$ .

**Figura 9:** Promedio y variabilidad del diámetro de la fibra de alpaca en comparación a otras fibras animales



La variabilidad del diámetro y la distribución dentro del animal, hace que existan diferentes definiciones para describirlos por lo que es importante resaltar algunos conceptos usados y citados en las Normas Técnicas Peruanas (NTP), NTP 231.370 (2014); NTP 231.301 (2014); NTP 231.302 (2014):

**Vellón:** es el conjunto total de fibras que cubre al cuerpo de la alpaca, resultado de la esquila que comprende manto, cuello y bragas.

**Manto:** Es la fibra, que se encuentra en el dorso y flancos de la alpaca, incluyendo el pecho del animal.

**Cuello:** Es la fibra que corresponde al cuello del animal, que va de la cruz a la base de la nuca.

**Bragas:** Es la fibra gruesa y de mechas cortas que se encuentra en el contorno del manto, cabeza, extremidades y cola.

**Categorización:** Es el proceso de calificación del vellón, basado en la proporción de su contenido de calidades superiores, calidades inferiores, longitud de mecha y color.

**Clasificación:** Es el proceso de la separación y selección de las fibras del vellón por rangos de finura, longitud y color que determinan las calidades.

**Esquila:** Es el corte de la fibra de la alpaca. La esquila puede ser tradicional cuando se refiere al uso de tijeras o mecánica cuando se hace uso de una máquina eléctrica.

**Calidades superiores:** Es el grupo de calidades cuyo diámetro es menor o igual que 26,5  $\mu\text{m}$  y su longitud de mecha mínima es de 65 mm.

**Calidades inferiores:** Es el grupo de calidades cuyo diámetro es mayor que 26,5  $\mu\text{m}$  y su longitud de mecha mínima es 70 mm.

**Envellonado:** Es la presentación del vellón para su almacenamiento y/o transporte, independientemente de si el cuello y las bragas lo acompañan.

**Alpaca súper baby:** Es el grupo de calidades de fibra de alpaca cuya finura es igual o menor que 20  $\mu\text{m}$  y su longitud mínima es 65 mm.

**Alpaca baby:** Es el grupo de calidades de fibra de alpaca cuya finura está en un rango de 20,1  $\mu\text{m}$  a 23  $\mu\text{m}$  y su longitud mínima es 65 mm.

**Alpaca fleece:** Es el grupo de calidades de fibra de alpaca cuya finura está en un rango de 23,1  $\mu\text{m}$  a 26,5  $\mu\text{m}$  y su longitud mínima es de 70 mm.

**Alpaca medium fleece:** Es el grupo de calidades de fibra de alpaca cuya finura está en un rango de 26,6  $\mu\text{m}$  a 29  $\mu\text{m}$  y su longitud mínima es de 70 mm.

**Alpaca huarizo:** Es el grupo de calidades de fibra de alpaca cuya finura está en un rango de 29,1  $\mu\text{m}$  a 31,5  $\mu\text{m}$  y su longitud mínima es de 70 mm.

**Alpaca gruesa:** Es el grupo de calidades de fibra de alpaca cuya finura es mayor de 31,5  $\mu\text{m}$  y su longitud mínima es de 70 mm.

**Alpaca corta:** Es un grupo de calidades de fibra de alpaca cuya longitud promedio es menor a 70 mm.

**Tops:** También denominada fibra peinada, es la fibra limpia que previamente ha sido lavada y cardada<sup>5</sup>.

**Factor de confort:** Es el porcentaje de fibras de grosor superior a 30  $\mu\text{m}$ . Se define con este umbral de referencia ya que se considera que por encima de este valor las fibras producen picor en la piel.

La producción de la fibra de alpaca alcanza alrededor de las 7.000 toneladas de producción anual en Perú. El comercio está sufriendo una transformación de manera que inicialmente se pagaba de acuerdo al peso del vellón sucio, pero cada vez más está pagándose por calidades definidas por el diámetro. Estas dos formas básicas de comercialización se corresponden respectivamente al tipo de manejo que se lleva de la alpaca, uno **tradicional** que tiende a la disminución, y el otro que podemos llamar **sostenible** y que tiende a la industrialización.

### 1.4. Sistema tradicional de producción alpaquera

Alrededor del 90% de la producción alpaquera se concentra bajo este sistema, con una desalentadora tasa de migración de la población joven, que está abandonando la cordillera andina para migrar a las ciudades en busca de otras oportunidades comerciales, dejando la producción en manos de pastores de la tercera edad, los cuales son menos receptivos a los cambios que necesita este sector ganadero. Bajo este sistema tradicional se continúa con los sistemas clásicos de cosecha de fibra, esquilando habitualmente con tijeras (Figura 10), pero incluso en ocasiones con cuchillos, piedras, latas o vidrios. Los rendimientos de la fibra bajo este sistema se ven disminuidos por la contaminación de calidades que existen en función de la localización de la fibra dentro del vellón, ya que las fibras de mejor calidad se encuentra cerca del lomo, mientras que las calidades inferiores

---

<sup>5</sup> La sección de cardas está compuesta por máquinas de tambores con púas de acero que abren la fibra de alpaca para eliminar impurezas

se distribuyen en la zona ventral y extremidades. El vellón esquilado se recoge en la forma de “*envellonado tambor*” que consiste en doblar el manto hacia el centro, y en el medio acomodar las fibras cortas, bragas, e impurezas. Posteriormente se enrolla para dar la forma de tambor, y finalmente se ata con una cuerda.

**Figura 10:** Sistema tradicional de esquila de alpacas



Bajo el sistema de manejo tradicional se emplean tres de los cuatro sistemas de manejo de apareamientos de animales que conocemos en alpacas:

- a) Apareamientos aleatorios: Se da en las poblaciones pequeñas de animales, cuando no se tiene la posibilidad de mantener ecotipos ni sexos separados.
- b) Apareamientos grupales: Es el sistema más utilizado. Consiste en mantener separados los distintos ecotipos, sexos y colores. Durante la campaña de apareamientos se forman grupos de machos y hembras de acuerdo a su ecotipo y color.
- c) Apareamientos controlados: En realidad este manejo reproductivo está comenzando a utilizarse. Consiste en mantener los machos separados de las hembras y hacer apareamientos individuales registrando la identificación de los machos y las hembras durante la cópula.



### 1.5. Sistema sostenible – Ejemplo Pacomarca

Pacomarca nace como una necesidad del sector industrial alpaquero para disminuir el diámetro de la fibra e incrementar así su valor textil. La finca inicia su actividad alrededor del año 1999 y se ubica en el departamento de Puno, en la provincia de Melgar, distrito de Llalli, con una precipitación media anual de 750 mm., con temperaturas que fluctúan entre los 5 y 13°C. La finca se encuentra ubicada a 4100 m. al suroeste de Perú y ha desarrollado su propio software para la gestión de la información (PacoPro v.5.4). Las instalaciones permiten llevar un control adecuado de la información con un sistema de corrales fijos y móviles (Figura 11) que permiten un cuarto sistema de reproducción:

**Figura 11:** *Diseño e Instalaciones de la Finca experimental Pacomarca.*



- d) Apareamientos dirigidos: Que consiste en utilizar los valores genéticos como herramienta de selección en busca de fibra fina.

Dado que la selección por peso de vellón había arrastrado un incremento del grosor de la fibra, se han puesto en marcha dos esquemas nuevos de comercialización. Uno más básico que consiste en la categorización del producto, pudiéndose llevar a cabo en campo (Tabla 6). El otro, la clasificación, se realiza en



los centros textiles de acuerdo al rendimiento de la fibra (Tabla 7). Ambos tienen en cuenta la finura del vellón valorada de forma subjetiva.

**Tabla 6:** Categorización del vellón según la NTP 231.302 – 2014.

| Categoría        | Superior (%) | Inferior (%) | Longitud mínima (mm) | Color                 | Contenido mínimo de baby (%) |
|------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|
| <b>Extrafina</b> | >70          | <30          | 65                   | Entero                | 20                           |
| <b>Fina</b>      | 55-69        | 45-31        | 70                   | Entero                | 15                           |
| <b>Semifina</b>  | 40-54        | 60-44        | 70                   | Entero – Canoso       | 5                            |
| <b>Gruesa</b>    | <40          | >60          | 70                   | Entero-Canoso-Pintado |                              |

**Tabla 7:** Clasificación de la fibra de alpaca según la NTP 231.301 – 2014.

| Grupo de calidades          | Diámetro (µm) | Longitud mínima (mm) | Humedad máxima (%) | Sólidos minerales máximos (%) | Grasa máxima (%) | Precio/ Kg. de Tops (\$) |
|-----------------------------|---------------|----------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|
| <b>Alpaca Súper Baby</b>    | < 20          | 65                   | 8                  | 6                             | 4                | 30                       |
| <b>Alpaca Baby</b>          | 20,1 - 23     | 65                   | 8                  | 6                             | 4                | 25                       |
| <b>Alpaca Fleece</b>        | 23,1 - 26,5   | 70                   | 8                  | 6                             | 4                | 15                       |
| <b>Alpaca Medium Fleece</b> | 26,6 - 29     | 70                   | 8                  | 6                             | 4                | 12                       |
| <b>Alpaca Huarizo</b>       | 29,1 - 31,5   | 70                   | 8                  | 6                             | 4                | 8                        |
| <b>Alpaca Gruesa</b>        | > 31,5        | 70                   | 8                  | 6                             | 4                | *                        |
| <b>Alpaca Corta</b>         |               | 20 - 70              | 8                  | 6                             | 4                | *                        |

(\*) No se precisa

La categorización de la fibra se agrupa en cuatro categorías comerciales, de acuerdo al contenido de calidades dentro del vellón (superiores los de diámetro de fibra inferior a 26,5 µm e inferiores los de diámetro de fibra superior a 26,5 µm). La clasificación en cambio establece siete grupos que están directamente relacionados con el diámetro y algo con la longitud de la mecha.

Para cuantificar el rendimiento de un animal o de una población nos referimos al valor textil como el sumatorio del peso obtenido en el vellón de cada calidad obtenida ponderado por su coste unitario (Tabla 7):

$$Valor\_Textil = \sum_{Calidades} (Kg.) \times (Precio)$$

#### **1.5.1. Inca esquila**

Para incrementar el rendimiento económico de la esquila, Pacamarca ha propuesto un sistema de cosecha de la fibra denominado “*Inca Esquila*” que consiste en mecanizar el proceso al tiempo que se cuida el bienestar animal (Figura 12). La puesta en marcha de este proyecto ha permitido separar el vellón en 3 partes:

- a) cuello,
- b) fibra corta y bragas y
- c) manto.

Estas tres partes se almacenan en bolsas separadas para su transporte. La parte que proporciona el mayor rendimiento es el manto. Ésta se envuelve con las puntas del pelo hacia afuera y en el centro del manto se coloca una bolsa plástica para evitar la generación de estática por fricción y la mezcla de pelos gruesos con finos.

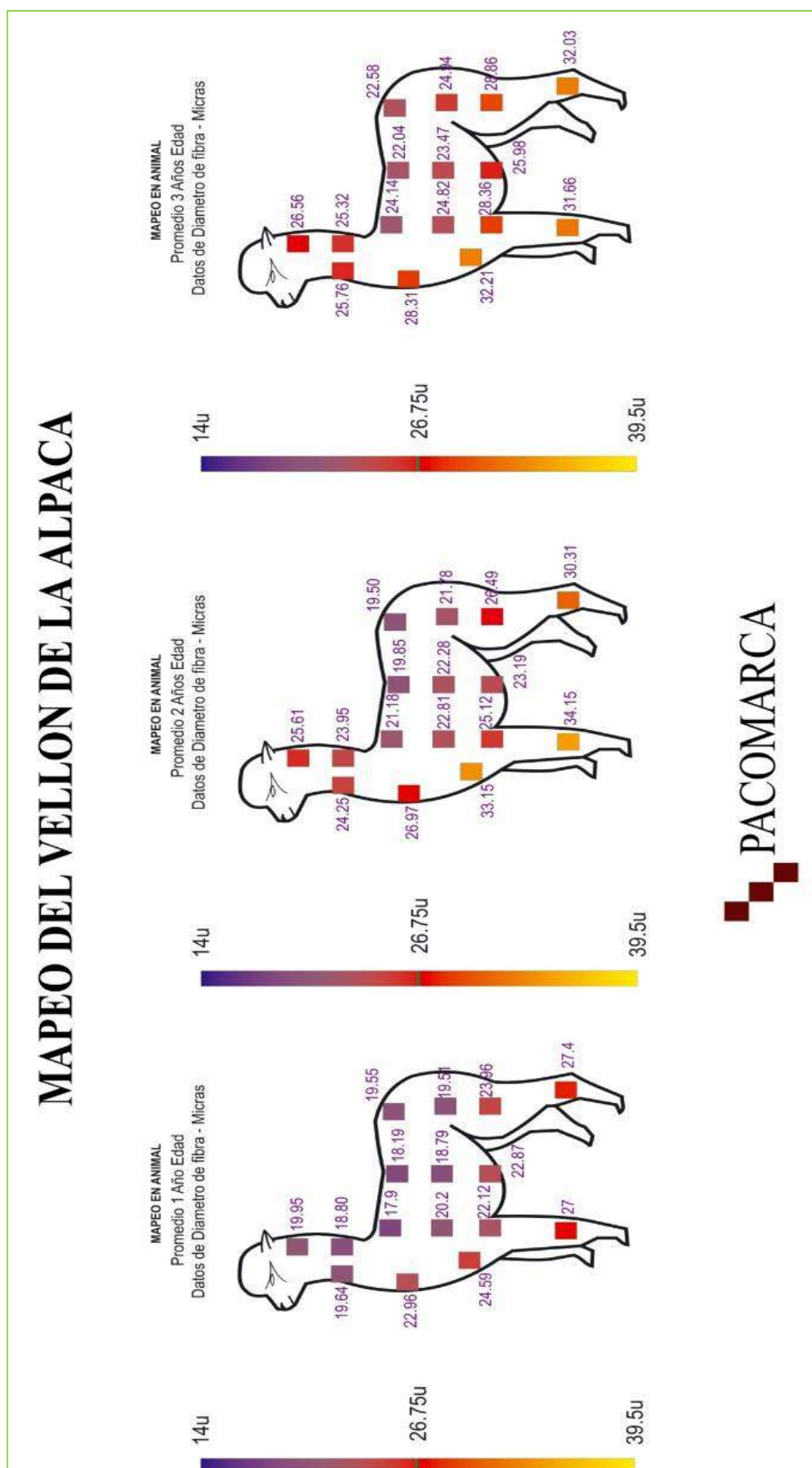
Este sistema de trabajo ha tenido un fuerte impacto en el sector alpaquero, hasta tal punto que el Ministerio de Agricultura y Riego del Perú la ha plasmado en una Norma Técnica Nacional, como “Buenas prácticas de esquila y manejo de vellón”, ya que, aparte de los beneficios económicos, también se generan mejores condiciones de bienestar animal, al reducirse el stress post esquila y el número de abortos. Téngase en cuenta que por lo general las épocas de esquila coinciden con una gestación avanzada de las madres.

**Figura 12:** Sistema mecanizado de esquila de alpacas “Inca esquila”

Esta manera de separar el vellón permite incrementar el valor económico final del mismo, ya que el diámetro no es uniforme a lo largo del vellón de la alpaca (Figura 13). Las fibras más finas se ubican en el lomo y van aumentando de diámetro en la medida que se alejan de él independientemente de la edad del animal. En consecuencia el sistema de *Inca Esquila* incrementa alrededor de un 20% más las calidades superiores en comparación con la esquila tradicional (estudio preliminar Burgos *et al.*, 2015, Tabla 8).

**Tabla 8:** Rendimientos entre los sistemas de esquila tradicional e Inca Esquila

| CALIDADES                                                      | Esquila Tradicional | Inca Esquila |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|
| <b>Superiores<br/>(Royal, Baby y Superfine)</b>                | 41%                 | 61%          |
| <b>Inferiores<br/>(Huarizo, Coarse Alpaca, y Mixed Pieces)</b> | 59%                 | 39%          |
| <b>Total</b>                                                   | <b>100%</b>         | <b>100%</b>  |

**Figura 13:** Distribución corporal del diámetro de fibra en Alpacas

### 1.5.2. Estudios científicos en Pacomarca

Los estudios realizados en el centro de mejora genética de alpacas de la finca experimental Pacomarca han tenido como principal objetivo la producción de fibra fina. El criterio de selección principal utilizado ha venido siendo el diámetro de fibra, carácter cuyos parámetros genéticos han sido estimados repetidamente, así como su correlación genética con otros caracteres de fibra y tipo (Gutiérrez *et al.*, 2009, Cervantes *et al.*, 2010b, Pérez-Cabal *et al.*, 2010, Gutiérrez *et al.*, 2011, Paredes *et al.*, 2014, Gutiérrez *et al.*, 2014, Cruz *et al.*, 2015, Cruz *et al.*, 2017a Cruz *et al.*, 2017b). La recopilación de datos se inicia desde el año 1999, cuantificando los caracteres de fibra con un dispositivo OFDA<sup>6</sup> 100 (Baxter, 2001) en el laboratorio de Inca Tops de la ciudad de Arequipa. En el año 2005 se realizan los primeros intentos de valoración genética basándose en los datos promedio de los hijos de los machos, pero resulta poco eficiente por el poco número de crías que deja un macho durante la campaña, lo que lleva a valores genéticos de baja precisión para la selección de animales.

La recogida de datos se registra de forma sistematizada en el software específico PacoPro, almacenando, entre otras cosas, los resultados procedentes del laboratorio correspondientes a las muestras de fibra de todos los animales presentes todos los años durante la época de esquila. Se obtienen así medidas repetidas de los caracteres de fibra. Otro grupo de caracteres que se analiza anualmente se refiere a caracteres morfológicos lineales valorados de forma subjetiva. Este grupo de caracteres sólo se valora una vez en la vida del animal, en el momento del destete.

En el año 2007 se inicia el proceso de la predicción de valores genéticos para los cuatro principales caracteres de fibra en alpacas, como es el diámetro de fibra, la desviación estándar, el factor de confort y el coeficiente de variación, y se empiezan a seleccionar animales de acuerdo a los valores genéticos, inicialmente sólo para el carácter diámetro de fibra. Gutiérrez *et al.* (2009) publican el primer trabajo de parámetros genéticos de seis caracteres productivos, como son el diámetro de fibra, el coeficiente de variación, el peso del vellón sucio, la longitud de

---

<sup>6</sup> Optical Fibre Diameter Analyser

la mecha, el intervalo entre esquilas y el valor textil. Se estiman heredabilidades entre moderadas y altas de 0,412 y 0,321 respectivamente para el diámetro de la fibra y el coeficiente de variación, y otras más bajas de 0,098, 0,070, 0,061 y 0,163 respectivamente para el peso del vellón sucio, la longitud de la mecha, el intervalo entre esquilas y el valor textil respectivamente. En dicho trabajo se concluye que la respuesta a la selección prevista para el valor textil es mayor cuando se utiliza el diámetro de fibra que cuando el criterio de selección es el propio valor textil. Dado que sería más eficiente usar el diámetro de fibra como criterio de selección para implementar un programa de selección en alpacas se desestima el uso del valor textil. En la Tabla 9 se muestra en resumen las heredabilidades, correlaciones genéticas y repetibilidades de los caracteres estudiados.

**Tabla 9:** *Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (sobre la diagonal) y repetibilidades para seis caracteres productivos en alpacas Peruanas.*

|    | FD    | CV    | PV    | LM     | IE     | VT     |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| FD | 0,412 | 0,032 | 0,116 | 0,102  | -0,395 | -0,746 |
| CV |       | 0,321 | 0,405 | 0,177  | 0,015  | 0,125  |
| PV |       |       | 0,098 | -0,034 | -0,132 | 0,490  |
| LM |       |       |       | 0,070  | 0,397  | -0,042 |
| IE |       |       |       |        | 0,061  | 0,177  |
| VT |       |       |       |        |        | 0,163  |
| R  | 0,578 | 0,579 | 0,316 | 0,090  | 0,069  | 0,299  |

(Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2009). FD - Diámetro de fibra, CV - Coeficiente de variación, PV - Peso de vellón sucio, LM - longitud de mecha, IE - Intervalo entre esquilas, VT= Valor textil, R= Repetibilidad.

Otro de los trabajos realizados en el centro es el llevado a cabo por Cervantes *et al.* (2010b) referido a la estimación de parámetros genéticos como heredabilidades y correlaciones genéticas entre caracteres de fibra y tipo (morfológicos). En este trabajo se analizaron por primera vez independientemente las poblaciones de alpacas *Huacaya* y *Suri*. Se analizaron los cuatro caracteres habituales relacionados con la fibra: diámetro de fibra, desviación estándar, factor de confort y coeficiente de variación, y cinco caracteres morfológicos como son la densidad del vellón, el rizo de la fibra en el *Huacaya* y la conformación de la mecha en el *Suri*, la conformación de la cabeza, la cobertura de pelos en las extremidades o calce, y el aspecto general equilibrado entre la cabeza, cuerpo y extremidades del animal. El resumen de las heredabilidades y correlaciones genéticas y

repetibilidades de los grupos de caracteres se muestran en las Tablas 10 (*Huacaya*) y 11 (*Suri*).

**Tabla 10:** Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (sobre la diagonal) y repetibilidades (fila R) para los caracteres de fibra y fenotipo en el ecotipo *Huacaya*.

|    | FD    | DS    | FC     | CV     | DE     | RI     | CB     | CA     | AG     |
|----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| FD | 0,369 | 0,719 | -0,968 | 0,094  | -0,079 | -0,300 | -0,279 | 0,028  | -0,134 |
| DS |       | 0,417 | -0,790 | 0,751  | -0,257 | -0,520 | -0,123 | 0,110  | -0,063 |
| FC |       |       | 0,255  | -0,219 | 0,108  | 0,332  | 0,236  | -0,077 | 0,102  |
| CV |       |       |        | 0,380  | -0,296 | -0,477 | 0,105  | 0,148  | 0,059  |
| DE |       |       |        |        | 0,236  | 0,725  | 0,209  | -0,145 | 0,214  |
| RI |       |       |        |        |        | 0,420  | 0,330  | 0,086  | 0,367  |
| CB |       |       |        |        |        |        | 0,425  | 0,765  | 0,921  |
| CA |       |       |        |        |        |        |        | 0,475  | 0,826  |
| AG |       |       |        |        |        |        |        |        | 0,148  |
| R  | 0,550 | 0,554 | 0,414  | 0,573  |        |        |        |        |        |

(Fuente: Cervantes *et al.*, 2010b). FD - diámetro de fibra, DS - desviación estándar del diámetro de fibra, FC - factor de confort, CV - coeficiente de variación, DE - densidad, RI - rizo de la fibra, CB - conformación de la cabeza, CA - calce, AG - aspecto general del animal y R - Repetibilidad.

**Tabla 11:** Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (sobre la diagonal) y repetibilidades (fila R) para los caracteres de fibra y fenotipo en el ecotipo *Suri*.

|    | FD    | DS    | FC     | CV     | DE     | EM     | CB     | CA     | AG     |
|----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| FD | 0,699 | 0,750 | -0,975 | 0,087  | 0,284  | -0,193 | -0,036 | 0,166  | 0,034  |
| DS |       | 0,684 | -0,759 | 0,719  | 0,141  | -0,154 | -0,010 | 0,131  | -0,020 |
| FC |       |       | 0,565  | -0,138 | -0,334 | 0,224  | 0,016  | -0,186 | -0,049 |
| CV |       |       |        | 0,605  | -0,056 | -0,018 | 0,038  | 0,039  | -0,052 |
| DE |       |       |        |        | 0,268  | 0,433  | 0,719  | 0,790  | 0,579  |
| EM |       |       |        |        |        | 0,222  | 0,637  | 0,417  | 0,682  |
| CB |       |       |        |        |        |        | 0,173  | 0,785  | 0,941  |
| CA |       |       |        |        |        |        |        | 0,272  | 0,730  |
| AG |       |       |        |        |        |        |        |        | 0,256  |
| R  | 0,897 | 0,847 | 0,838  | 0,789  |        |        |        |        |        |

(Fuente: Cervantes *et al.*, 2010b). FD - diámetro de fibra, DS - desviación estándar del diámetro de fibra, FC - factor de confort, CV - coeficiente de variación, DE - densidad, EM - estructura de la mecha, CB - conformación de la cabeza, CA - calce, AG - aspecto general del animal y R - Repetibilidad.

Los resultados mostraron que las heredabilidades de los caracteres de fibra fueron muy elevadas, en especial en el ecotipo *Suri* (0,565 a 0,699), y más altos que los morfológicos. Las correlaciones genéticas entre los caracteres de fibra y morfológicos no resultaron relevantes, a excepción del rizo con los caracteres de



fibra en el ecotipo *Huacaya* (-0,300 a 0,725). Los autores concluían que en los Andes peruanos, donde es difícil implementar un control de rendimientos cuantitativos de fibra, se podría utilizar la puntuación del rizo en el ecotipo *Huacaya* (con correlación genética 0,300) como una evaluación de campo que ayudaría levemente a la selección masal de animales.

La estimación de heredabilidades muy elevadas para los caracteres de fibra en los ecotipos *Huacaya* y particularmente en *Suri*, levantó la sospecha sobre la posible existencia de algún gen mayor que estaría segregando en esta población. Pérez-Cabal *et al.* (2010) realizaron un análisis de segregación para los cuatros caracteres relacionados con calidad de fibra, como eran el diámetro de la fibra, la desviación estándar, el factor de confort y el coeficiente de variación.

**Tabla 12:** Media de la distribución posterior de la densidad al 95% de los parámetros del modelo de herencia mixta para los ecotipos *Huacaya* y *Suri*.

|                    | HUACAYA |       |       |        | SURI  |       |       |        |
|--------------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
|                    | FD      | DS    | CV    | FC     | FD    | DS    | CV    | FC     |
| $\sigma^2_e$       | 4,50    | 0,50  | 6,54  | 87,63  | 4,48  | 0,67  | 8,86  | 99,66  |
| $\sigma^2_{polyg}$ | 1,71    | 0,16  | 0,72  | 15,51  | 2,29  | 0,33  | 1,05  | 17,02  |
| $\sigma^2_{perm}$  | 0,96    | 0,10  | 1,08  | 4,38   | 1,27  | 0,11  | 0,89  | 16,67  |
| $\sigma^2_m$       | 7,86    | 1,28  | 5,50  | 194,14 | 10,54 | 1,97  | 9,72  | 182,22 |
| $h^2_{polyg}$      | 0,24    | 0,21  | 0,09  | 0,14   | 0,28  | 0,30  | 0,10  | 0,13   |
| $h^2_m$            | 0,63    | 0,71  | 0,45  | 0,69   | 0,69  | 0,75  | 0,52  | 0,63   |
| <b>a</b>           | 4,18    | 1,67  | 3,32  | 15,03  | 4,23  | 1,61  | 3,76  | 14,90  |
| <b>d</b>           | -1,98   | -0,88 | -1,37 | 13     | -2,03 | -1,11 | -2,17 | 11,80  |
| <b>p</b>           | 0,85    | 0,86  | 0,81  | 0,24   | 0,77  | 0,70  | 0,70  | 0,36   |

(Fuente: Pérez-Cabal *et al.*, 2010), FD - diámetro de fibra, DS - desviación estándar del diámetro de fibra, FC - factor de confort, CV - coeficiente de variación,  $\sigma^2_e$  - Varianza residual,  $\sigma^2_{polyg}$  - Varianza del efecto poligenético,  $\sigma^2_{perm}$  - varianza del efecto ambiental permanente,  $\sigma^2_m$  - varianza del gen mayor  $h^2_{polyg}$  - heredabilidad para la componente poligénica,  $h^2_m$  - heredabilidad para el gen mayor, a - efecto aditivo, d - efecto dominante, p - frecuencia alélica del gen mayor.

Se analizaron independientemente las poblaciones *Huacaya* y *Suri* mediante un análisis bayesiano de segregación con probabilidades de transmisión y concluyeron que la varianza atribuida a un hipotético gen mayor era más grande que el resto de la varianza genética asignada a la varianza poligénica (Tabla 12). Por tanto, podría estar segregando un gen mayor que afectaba de manera



importante a los rendimientos. Los resultados fueron concluyentes pero se echaba de menos un análisis molecular.

**Tabla 13:** Asociación de cuatro marcadores de microsatélites con los valores genéticos para el diámetro de fibra en los ecotipos Huacaya y Suri.

| Loci   | Alelos | Frecuencia Alélica | FD (μm) | PBV    | Valor del índice Genético |       |
|--------|--------|--------------------|---------|--------|---------------------------|-------|
|        |        |                    |         |        | Huacaya                   | Suri  |
| LCA68  | 199    | 13                 | 22.11   | 84.56  | -1.81                     | -1.34 |
|        | 189    | 9                  | 21.51   | 89.13  | -1.27                     | -0.54 |
|        | 201    | 41                 | 22.49   | 92.54  | -0.87                     | -0.65 |
|        | 197    | 8                  | 22.86   | 92.76  | -0.85                     | -0.63 |
|        | 203    | 6                  | 21.68   | 93.87  | -0.74                     | -0.55 |
|        | 205    | 14                 | 24.09   | 96.22  | -0.44                     | -0.33 |
|        | 195    | 5                  | 30.60   | 137.84 | 4.43                      | 3.28  |
| VOLP59 | 112    | 68                 | 22.14   | 90.67  | -1.09                     | -0.81 |
|        | 110    | 66                 | 23.52   | 99.04  | -0.11                     | -0.08 |
| LCA90  | 243    | 5                  | 21.89   | 90.06  | -1.16                     | -0.86 |
|        | 229    | 55                 | 22.50   | 89.93  | -1.18                     | -0.87 |
|        | 227    | 30                 | 22.78   | 94.80  | -0.61                     | -0.45 |
|        | 231    | 9                  | 24.64   | 102.77 | 0.32                      | 0.24  |
|        | 249    | 15                 | 25.98   | 110.81 | 1.27                      | 0.94  |
| GLM6   | 143    | 5                  | 23.19   | 73.51  | -3.10                     | -2.30 |
|        | 155    | 39                 | 22.19   | 91.07  | -1.04                     | -0.78 |
|        | 155    | 8                  | 22.80   | 92.81  | -0.84                     | -0.63 |
|        | 157    | 67                 | 22.93   | 95.26  | -0.55                     | -0.41 |
|        | 153    | 16                 | 24.37   | 106.26 | 0.73                      | 0.54  |

(Fuente: Paredes *et al.*, 2014), FD= diámetro de fibra, PBV= valor de cría predicho.

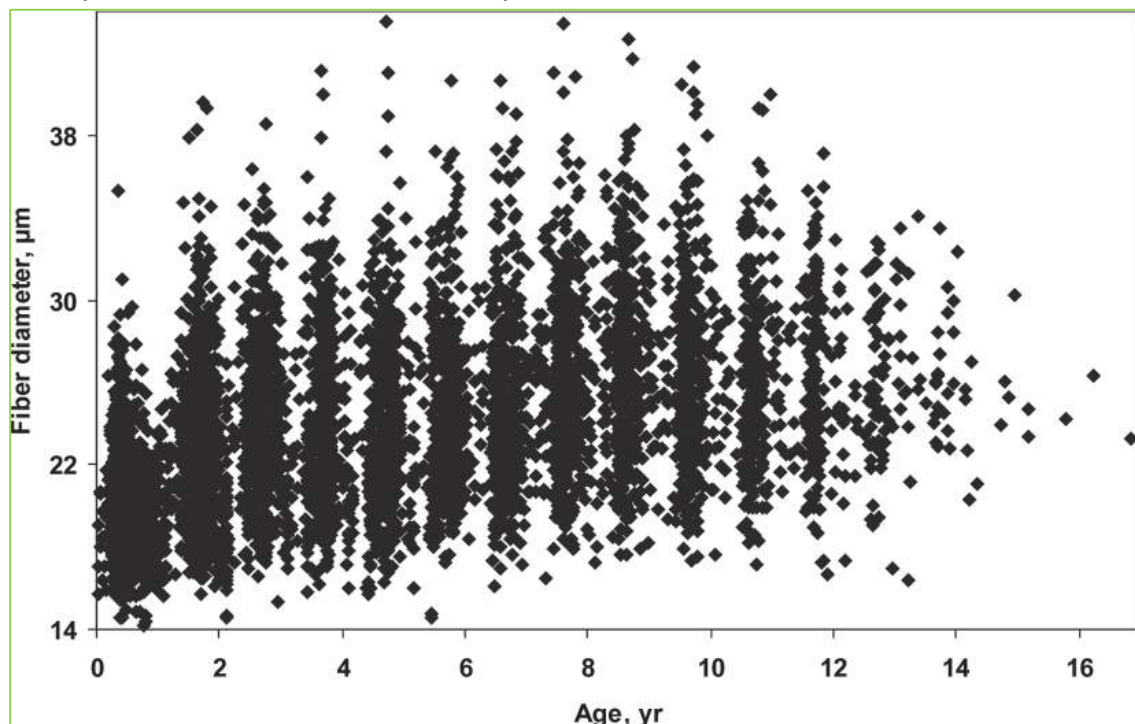
El resultado obtenido con el análisis de segregación llevó a Pacamarca a iniciar sus primeros ensayos en el área de la genómica. Paredes *et al.* (2014), para contribuir a la explicación de la existencia de genes mayores que pueden afectar el diámetro de la fibra de alpaca, analizaron 69 marcadores de tipo microsatélite para buscar alguna asociación de alguno de ellos con caracteres de fibra. Analizaron 140 animales de ambos ecotipos mediante estrategia de genotipado selectivo de manera que se escogieron aquellos animales con mayor y menor probabilidad de ser homocigotos para el hipotético gen sugerido en el análisis de segregación.

El análisis reveló cuatro asociaciones significativas con un total de 14 alelos, de los cuales 11 fueron con efecto favorable (disminución del diámetro) y 3 con efecto desfavorable (incremento del diámetro), tal como se muestra en la Tabla 13.

De los cuatro microsatélites significativos, uno de ellos, el LCA68, explicaría por sí solo los valores revelados por el análisis de segregación, mostrando además una elevadísima significación.

**Figura 14:** Evolución del diámetro de la fibra a lo largo de la vida productiva en alpacas.

(Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2011)



Otra investigación llevada a cabo se refiere a la influencia de la edad sobre el diámetro de la fibra. Una apreciación subjetiva de los responsables de la finca experimental Pacamarca sugería la existencia de animales que mantenían la finura a lo largo de su vida mientras que otras engrosaban enormemente la fibra con la edad. Así pues, la búsqueda de la alpaca ideal en Pacamarca que produjera fibra fina, no solamente cuando era joven sino a lo largo de su vida productiva y comprender cómo evolucionaba el diámetro respecto a la edad de los animales, llevó a Gutiérrez *et al.* (2011) a plantearse el estudio de la genética del incremento del diámetro de la fibra.

Encontraron que el diámetro incrementaba de forma cuadrática con la edad, de manera que a los ocho años de edad se estabilizaba. Se apreció una gran variabilidad respecto al incremento del diámetro durante la vida productiva, lo que sugeriría la posibilidad de seleccionar animales que no incrementaran en exceso el

diámetro (Figura 14). Los valores extremos de correlación genética del crecimiento con el propio diámetro cualquiera que fuera el modelo utilizado, llevaron a concluir que eran precisamente los animales más finos los que menos engrosarían con la edad, por lo que no sería necesario invertir esfuerzos con este objetivo.

**Tabla 14:** Respuestas relativas deseadas (deseado) y respuestas genéticas esperadas en porcentaje para Pacamarca y el ICAR (Guías técnicas propuestas el 2012) para los ecotipos Huacaya (HU) y Suri (SU).

|       | PACOMARCA |     |     | ICAR    |     |     |
|-------|-----------|-----|-----|---------|-----|-----|
|       | Deseado   | HU  | SU  | Deseado | HU  | SU  |
| FD    | -22       | -14 | -17 | -50     | -16 | -19 |
| DS    | -17       | -14 | -17 | 0       | -20 | -22 |
| FC    | 8         | 15  | 18  | 0       | 18  | 20  |
| CV    | 0         | -8  | -11 | -50     | -18 | -19 |
| DE    | 13        | 10  | 2   | 0       | 6   | -5  |
| RI/EM | 20        | 16  | 13  | 0       | 12  | 6   |
| CB    | 10        | 10  | 10  | 0       | 4   | 0   |
| CA    | 5         | 4   | 2   | 0       | -2  | -7  |
| AG    | 5         | 10  | 10  | 0       | 4   | 0   |

(Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2014), FD - diámetro de fibra, DS - desviación estándar, FC - factor de confort, CV - Coeficiente de variación, DE - densidad, RI – rizo de la fibra, EM – estructura de la mecha, CB - conformación de la cabeza, CA - calce, AG – aspecto general del animal, ICAR - Comité Internacional para el Registro Animal.

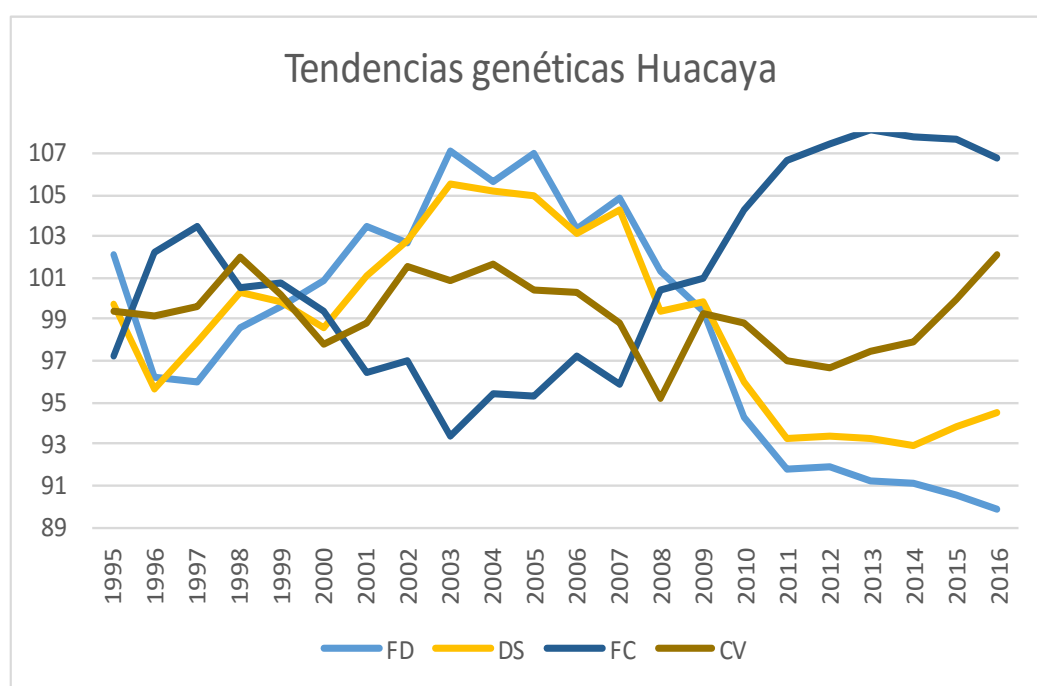
El año 2011, con la aprobación del Decreto Supremo 013-11-AG donde se aprueba el registro genealógico para la mejora genética y los estándares raciales, se deduce la necesidad de seleccionar por varios caracteres entre los que están los de calidad de la fibra, pero también los morfológicos, por lo que Gutiérrez *et al.* (2014) proponen utilizar un índice genético combinado utilizando el método de respuestas esperadas para utilizar los criterios de selección de acuerdo al interés económico relativo de los caracteres objetivo de selección.

Al hacer las simulaciones se encontró que cuando se quisiera obtener respuestas altas referentes a los caracteres de fibra, la cobertura de las patas se vería comprometida, lo que empeoraría su apariencia fenotípica. El productor debe ser consciente de esta consecuencia y decidir si su objetivo es la calidad de fibra, el aspecto morfológico del animal o una combinación de ambos que limitaría la respuesta a la selección de todos ellos. La Tabla 14 permite observar las diferencias

entre las respuestas expresadas en porcentaje por ecotipos según lo planteado por Pacamarca y según lo que en este texto se ha denominado ICAR<sup>7</sup> y que simplemente sugiere seleccionar para dos características con igual peso.

### 1.5.3. Tendencias Genéticas

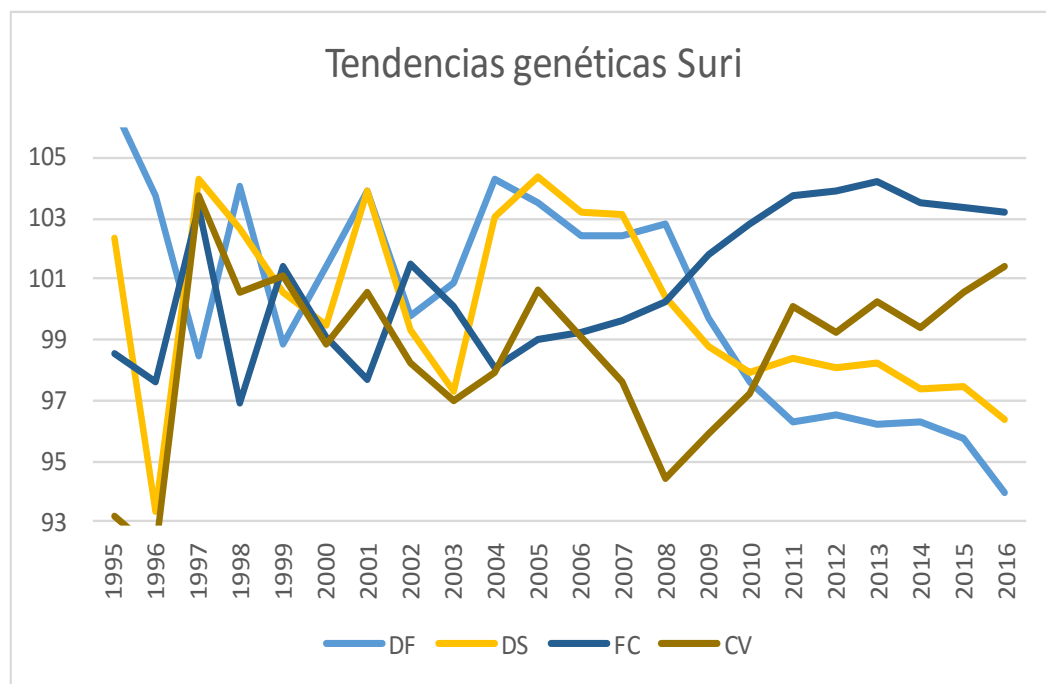
**Figura 15:** Tendencias genéticas de caracteres de fibra para el ecotipo Huacaya



FD - Diámetro de fibra, DS - Desviación estándar, FC - Factor de confort, CV - Coeficiente de variación

La predicción de los valores genéticos para los caracteres de fibra se hace desde 2006, y se utilizan como criterio de selección desde 2007, trabajando sobre cuatro caracteres relacionados con la finura de la fibra y su variabilidad, como son el diámetro medio de la fibra, la desviación estándar de la muestra, el coeficiente de variación expresado en porcentaje y el factor de confort. Todos los esfuerzos de mejora han sido enfocados fundamentalmente a la disminución del diámetro, utilizando este carácter como el criterio de selección más importante.

<sup>7</sup> Internacional Committee for Animal Recording

**Figura 16:** Tendencias genéticas de caracteres de fibra para el ecotipo Suri

FD - Diámetro de fibra, DS - Desviación estándar, FC - Factor de confort, CV - Coeficiente de variación

En la Figura 15 se observa la tendencia genética de los cuatro caracteres de fibra de alpaca *Huacaya*, observando que existe una tendencia favorable para el diámetro de la fibra y el factor de confort, ya que las correlaciones encontradas entre ambos caracteres son muy altas (-0,968). Sin embargo la desviación estándar ha sufrido un impacto desfavorable, y consecuentemente, el coeficiente de variación, al ser un cociente entre la desviación estándar y el diámetro, se ha incrementado desfavorablemente. Globalmente el progreso genético entre 2007 y 2016 es alto, lo que ha permitido disminuir el diámetro de fibra de las tuis<sup>8</sup> a la primera esquila de 21 a 18  $\mu\text{m}$  y de la población general de alpacas de 25 a 22  $\mu\text{m}$  para el ecotipo *Huacaya* blanco.

Por otro lado el ecotipo *Suri* tiene un progreso genético mucho más discreto como se observa en la Figura 16, debido a que este ecotipo tiene una menor población y consecuentemente una menor presión de selección. En este ecotipo también se utilizó el diámetro de la fibra como el principal criterio de selección,

<sup>8</sup> Tui es la denominación de una alpaca joven que se encuentra entre los 7 y 30 meses de edad

teniendo una respuesta favorable para el mismo y para el factor de confort debido a su alta correlación genética (-0,975). Al igual que en el *Huacaya* existe un impacto desfavorable respecto a la desviación estándar y el coeficiente de variación.

### **1.6. Caracteres Funcionales y Secundarios**

Todo lo introducido hasta aquí respecto al programa de mejora genética de la finca experimental Pacamarca, muestra avances en la línea deseada, por lo que existe una elevada satisfacción en lo que se refiere a los caracteres de mayor impacto económico. Sin embargo, se ha prestado escaso interés a otro tipo de caracteres que también forman parte del balance económico de la ganadería, como son los caracteres funcionales y secundarios.

Los caracteres secundarios son aquellas características que no son el objeto de la explotación, pero que también contribuyen a producir ingresos. Como ejemplo tenemos la venta de animales vivos por caracteres de tipo en ganaderías lecheras (Haile-Mariam and Pryce, 2015), la venta de canales o productos de despiece también en ganaderías lecheras (Franco *et al.*, 2009; Obuz *et al.*, 2014), o la alternativa de venta de carne en animales productores de fibra (Cruz *et al.*, 2017a). Los caracteres funcionales, en cambio, serían aquellos caracteres que condicionan la eficiencia económica de la explotación, no por afectar a los ingresos, sino por la reducción de los costes. En el pasado estos caracteres han sido conocidos también como caracteres secundarios porque también contribuyen al beneficio de la explotación, pero los secundarios participan de los ingresos mientras que los funcionales participan de los costes. En ganado de leche se consideran por ejemplo caracteres funcionales: el temperamento lechero, la agresividad, la velocidad de ordeño, la profundidad de la ubre, los días al primer celo, la fertilidad, la longevidad (Kramer *et al.*, 2014; Haile-Mariam and Pryce, 2015), la edad al primer parto y el intervalo entre partos, (Makgahlela *et al.*, 2008). En las razas cárnicas también se consideran la facilidad de parto, la longitud de la gestación, la supervivencia, los trastornos de fertilidad y la susceptibilidad a enfermedades (Cervantes *et al.*, 2010a; Pfeiffer *et al.*, 2015; Hansen Axelsson *et al.*, 2011).

Los programas de mejora genética en vacuno lechero sirven de referencia para otros programas de mejora por haber sido esta especie la que dichos programas se implantaron inicialmente y por ser también la población en la que mejor han venido funcionando. Es en esta especie, en el vacuno lechero, en la que se ha evidenciado el fuerte impacto que ha tenido la selección para la producción de leche, si bien el progreso genético ha sido enormemente ventajoso en especial en la Holstein en Estados Unidos con un incremento en 20 años (1980-2000) de aproximadamente 3.500 Kg. de leche, 130 Kg. de grasa y 100 Kg de proteína. Este progreso representa aproximadamente el 30% de las ganancias gracias a la mejora genética ya que para 1980 la producción estaba alrededor de 8.003 kg de leche y para el año 2000 la media rondaba alrededor de 11.505 kg (Shook, 2006). Sin embargo simultáneamente la acumulación de frecuencias de genes favorables para el rendimiento en relación a algunos caracteres ha modificado negativamente la rentabilidad. Los caracteres funcionales afectados han sido principalmente los reproductivos como la fertilidad que ha disminuido hasta un 6%, disminuyendo el porcentaje de hembras preñadas por inseminación, incrementando así los costes productivos (Abe *et al.*, 2009; Shook, 2006). Además, se ha disminuido la fertilidad a la primera inseminación (Ghiasi *et al.*, 2013; Pollot and coffey, 2008; Shook, 2006) y se ha incrementado el intervalo entre partos, lo que significa que hay más días de mantenimiento de las vacas con una menor producción de leche (Pollot and Coffey, 2008). Por otro lado el grupo de caracteres funcionales morfológicos relacionados con la ubre, como su inserción o la fortaleza del ligamento suspensor, o los relacionados con la locomoción, como la conformación de la línea superior o la conformación de las patas o los relacionados con la salud y el bienestar animal como la resistencia o susceptibilidad a enfermedades o adaptación a determinados climas, influyen sobre la permanencia de la vaca en el rebaño (Pérez-Cabal and Alenda, 2002; Rupp and Boichard 1999). El deterioro en estos caracteres afecta negativamente a los costes operativos, por la tasa de reposición temprana que necesitan las vacas y por la manutención permanente de las terneras para reposición mientras no están en régimen productivo. Esta situación ha forzado a tener en cuenta los caracteres funcionales dentro de los programas de mejora incluyéndose en los índices genéticos. Aunque algunos ya se habían ido implementando desde inicios de 1970, a partir de 1994 se han incluido como

caracteres importantes con pesos económicos relevantes dentro de los índices combinados de selección, tanto en Estados Unidos como en otros países productores de leche, para reducir los costes de producción e incrementar consecuentemente la rentabilidad (Shook, 2006).

La producción animal debe entenderse como un proceso dinámico que debe estar preparado para afrontar los cambios, tanto si dichos cambios han sido originados por la selección de algunos caracteres, como si dichos cambios son consecuencia de la variación en los hábitos de consumo, ya que existe una fuerte tendencia al incremento de consumo de productos orgánicos y saludables. Estos cambios ya se han evidenciado en el vacuno lechero, donde hemos pasado de incrementar la producción de leche por animal a buscar producciones equilibradas entre kilos de leche, grasa y proteína, con vigilancia del recuento de células somáticas mientras se persiguen productos libres de antibióticos, buscando así animales que además sean resistentes a enfermedades. Aunque dichos caracteres funcionales no son el principal objetivo de selección, se han convertido en caracteres muy relevantes para aportar calidad a la producción. En lo que se refiere a programas de mejora genética en alpacas, aún están en sus comienzos, pero es de esperar que los objetivos de selección futuros avancen en paralelo a lo que ya ha sucedido en vacuno lechero. Por ello, es importante conocer cómo se relacionan los caracteres productivos de los programas de mejora actuales, con los caracteres funcionales y secundarios más importantes, con el objeto de minimizar las consecuencias desfavorables. Conviene recordar que la rentabilidad por la producción de fibra es aún tan reducida, que prácticamente los ingresos por venta de producto sólo llegan para la manutención de los animales, por lo que un incremento de costes podría llevar a una disminución tal de la rentabilidad, que estos programas desaparecerían.

### **1.7. Justificación**

Como ha sido ya comentado, la alpaca se ha situado mundialmente como un excelente animal productor de fibra noble. Paradójicamente la cadena productiva se inicia en las zonas más pobres y arraigadas de los Andes, pero el producto final



se termina comercializado en el mercado más selecto, cuyo precio crece exponencialmente en función de su calidad. Por ello se han realizado grandes esfuerzos de investigación enfocados a la disminución del diámetro de la fibra, lo que haría este producto más competitivo frente al obtenido a partir de otros animales productores de fibras nobles.

Las estimaciones obtenidas para los parámetros genéticos de los caracteres de fibra sugieren que se pueden obtener respuestas rápidas por selección cuando se utiliza la reducción del diámetro de fibra como criterio de selección. Particularmente, los estudios realizados en Pacamarca han ayudado a lograr progresos importantes en la disminución del diámetro, pero al mismo tiempo han demostrado que algunas correlaciones genéticas pueden llevar a impactos desfavorables en otros caracteres, como ocurre por ejemplo con alguno de los caracteres morfológicos de interés. Dado que existen otros caracteres que inciden en el beneficio de la explotación, se hace indispensable evaluar los parámetros genéticos para estos otros caracteres, así como las relaciones genéticas que estos últimos tienen sobre los caracteres que se consideran como principales objetivos de selección. Éstos son por ejemplo los caracteres funcionales, y principalmente los caracteres reproductivos. Por ejemplo, el mantenimiento de una hembra vacía supondría un incremento de su coste que podría no compensar el ingreso que se obtiene por la comercialización de su vellón. Además, desde la óptica de la mejora genética, el incremento de las tasas reproductivas llevaría a una mayor disponibilidad de candidatos a seleccionar incrementando la intensidad de selección y consecuentemente la respuesta por generación. El incremento del número de hembras que se encontrarán en estado reproductivo podría tener consecuencias sobre la calidad de la fibra, por lo que debería estudiarse cómo los estados lactante y/o gestante de la hembra afectan a la calidad de la fibra. Por otro lado necesitamos seguir aprovechando los productos secundarios de la producción de alpacas. En el caso de lograr mejoras de los índices reproductivos, la cría y mejora de alpacas llevaría al nacimiento de un elevado número de animales que no serían después utilizados como reproductores, por lo que podrían venderse fuera del rebaño. Además, la calidad de la carne de alpaca sugiere la posibilidad de entrar

en ventajosa competencia con otras especies, pasando del actual autoconsumo a competir con las carnes rojas ofertadas en los diferentes mercados.

Por tanto, se hace necesario conocer los parámetros genéticos relacionados con caracteres funcionales y secundarios, las correlaciones genéticas entre ellos, y también las correlaciones genéticas que presentan con los caracteres que vienen siendo considerados objetivo de selección como son los relacionados con la fibra y con la morfología. Ello nos permitiría pensar en la posibilidad de buscar un objetivo de selección que combine caracteres de todo tipo y evitar también las consecuencias desfavorables de respuesta correlacionada no controladas. Las consecuencias que tendría sobre la calidad de fibra el hecho de incrementar los animales en actividad reproductiva deberían ser también estudiadas, permitiendo así además afinar los modelos para la estimación de parámetros genéticos y la predicción de valores mejorantes.



## II. OBJETIVOS



## OBJETIVOS

El principal objetivo de esta Tesis Doctoral fue estimar los parámetros genéticos para caracteres funcionales y secundarios, que ayuden a una mejor utilización de los criterios de selección en alpacas. Este objetivo general se ha desglosado en los siguientes objetivos específicos:

- Estimar los parámetros genéticos en caracteres reproductivos y las correlaciones genéticas con los caracteres productivos y morfológicos en alpacas.
- Estimar los parámetros genéticos de los caracteres de crecimiento y supervivencia predestete y sus correlaciones genéticas con los caracteres reproductivos, productivos y morfológicos en alpacas.
- Evaluar el efecto de los estados fisiológicos de hembras lactantes y gestantes sobre los caracteres relacionados con calidad de fibra en alpacas.





### **III. ESTIMACION DE PARAMETROS GENETICOS DE CARACTERES REPRODUCTIVOS EN ALPACAS**





### 3.1. Resumen

Una de las principales deficiencias que afectan a los programas de mejora en alpacas peruanas es la baja tasa reproductiva que conduce a un menor número de animales disponibles para seleccionar, disminuyendo fuertemente la intensidad de selección. Algunas características reproductivas podrían ser mejoradas por selección artificial, pero existen muy pocos datos sobre los parámetros genéticos para estos caracteres en esta especie. El objetivo de este estudio fue estimar los parámetros genéticos para seis caracteres reproductivos en alpacas, tanto en los ecotipos *Suri* como *Huacaya*, así como su correlación genética con los caracteres de fibra y morfológicos. Se utilizaron los registros de la base de datos perteneciente a la finca experimental Pacamarca recolectados entre los años 2000 y 2014. El número de registros para la edad al primer servicio, la edad al primer parto, el tiempo de copula, el diagnóstico de gestación, la duración de la gestación y el intervalo entre partos fueron, respectivamente, de 1.704, 854, 19.770, 5.874, 4.290 y 934 respectivamente, cuya genealogía corresponde a 7.742 animales. En cuanto a las características reproductivas, el análisis del modelo incluyó efectos aditivos y residuales para todos los caracteres, y también el efecto ambiental permanente para los caracteres tiempo de cópula, diagnóstico de gestación, duración de la gestación e intervalo entre partos. Se incluyó el color y el año de recogida de datos como efectos fijos para todos los caracteres reproductivos, incluyendo la edad al día del servicio y el sexo de la cría para el carácter duración de la gestación. Las heredabilidades estimadas fueron 0,19 y 0,09 para la edad al primer servicio, 0,45 y 0,59 para la edad al primer parto, 0,04 y 0,05 para el tiempo de cópula, 0,07 y 0,05 para el diagnóstico de gestación, 0,12 y 0,20 para la duración de la gestación, y 0,14 y 0,09 para el intervalo entre partos respectivamente para *Huacaya* y *Suri*. Las correlaciones genéticas estuvieron en el rango de -0,96 a 0,70. No se encontraron correlaciones genéticas importantes entre los caracteres reproductivos y de fibra para el ecotipo *Huacaya*. Sin embargo, se encontraron algunas correlaciones genéticas moderadas y favorables para los caracteres reproductivos y de fibra en el ecotipo *Suri*. De acuerdo con las correlaciones genéticas

encontradas se podrían incluir algunos caracteres reproductivos como criterios de selección.

- 3.2. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in alpacas. 2015. *Animal Reproduction Science* 163, 48-55**



## Estimation of genetic parameters for reproductive traits in alpacas



A. Cruz<sup>a</sup>, I. Cervantes<sup>b</sup>, A. Burgos<sup>a</sup>, R. Morante<sup>a</sup>, J.P. Gutiérrez<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Fundo Pacamarca – INCA TOPS S.A., Miguel Forga 348, Arequipa, Perú

<sup>b</sup> Departamento de Producción Animal, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n, E-28040 Madrid, Spain

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 21 June 2015

Received in revised form

28 September 2015

Accepted 29 September 2015

Available online 17 October 2015

#### Keywords:

Reproductive traits

Genetic parameters

Alpaca

### ABSTRACT

One of the main deficiencies affecting animal breeding programs in Peruvian alpacas is the low reproductive performance leading to low number of animals available to select from, decreasing strongly the selection intensity. Some reproductive traits could be improved by artificial selection, but very few information about genetic parameters exists for these traits in this specie. The aim of this study was to estimate genetic parameters for six reproductive traits in alpacas both in Suri (SU) and Huacaya (HU) ecotypes, as well as their genetic relationship with fiber and morphological traits. Dataset belonging to Pacamarca experimental farm collected between 2000 and 2014 was used. Number of records for age at first service (AFS), age at first calving (AFC), copulation time (CT), pregnancy diagnosis (PD), gestation length (GL), and calving interval (CI) were, respectively, 1704, 854, 19,770, 5874, 4290 and 934. Pedigree consisted of 7742 animals. Regarding reproductive traits, model of analysis included additive and residual random effects for all traits, and also permanent environmental effect for CT, PD, GL and CI traits, with color and year of recording as fixed effects for all the reproductive traits and also age at mating and sex of calf for GL trait. Estimated heritabilities, respectively for HU and SU were 0.19 and 0.09 for AFS, 0.45 and 0.59 for AFC, 0.04 and 0.05 for CT, 0.07 and 0.05 for PD, 0.12 and 0.20 for GL, and 0.14 and 0.09 for CI. Genetic correlations between them ranged from −0.96 to 0.70. No important genetic correlations were found between reproductive traits and fiber or morphological traits in HU. However, some moderate favorable genetic correlations were found between reproductive and either fiber and morphological traits in SU. According to estimated genetic correlations, some reproductive traits might be included as additional selection criteria in HU.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

The alpaca (*Vicugna pacos*) is one of the four species of South American camelids. It lives in the Andes of South America mainly in Peru, above 3000 m over sea level. It has several productive skills (Quispe et al., 2009), but the main

economic feature of this specie is the production of quality fiber.

One of the main deficiencies affecting animal breeding programs in Peruvian alpacas is the low reproductive performance (Bravo et al., 1997), leading to a very low number of animals to select from, decreasing strongly the selection intensity.

Reproductive performance can be increased by improving management, but can also be improved by artificial selection based in appropriate traits. However, information

\* Corresponding author.

E-mail address: [gutgar@vet.ucm.es](mailto:gutgar@vet.ucm.es) (J.P. Gutiérrez).

about genetic parameters for reproductive traits is very scarce in alpacas. In this way, addressing indicators as measures of reproductive efficiency becomes an important issue in order to be included as additional selection objectives of breeding programs (Gutiérrez et al., 2002; Tonhati et al., 2000; Van der Westhuizen et al., 2000). Traits to be considered as potential selection criteria, might even have not only influence on fertility, but also a direct economic impact, as argued in beef cattle (Bourdon and Brinks, 1983; Rust and Groeneveld, 2001).

Reproductive profiling of alpacas has particular features. Mating is only carried out in summer months, in a period called campaign, and females not becoming pregnant in that period, will not offered to the male until next campaign. Under the usual management in alpacas, females are considered suitable to breed in the second campaign after being born. Age at first service (AFS) and age at first calving (AFC) can be therefore important reproductive performance traits to be dealt with, although AFS directly depends on management farmer decisions such as nutrition and animal management, the development state of young animals can condition this farmer decision and part of this development state can be under genetic control. AFC, instead, directly addresses the fertility of the female, combined with the information undergoing AFS. The information contained in AFC is equivalently measured through calving interval (CI) in adult females. Higher performance is attained if animals are younger at their first calving (lower AFC), and shorter is the CI. It has been shown in beef cattle that under this scenario of lower AFC and CI, cows produce more calves in their reproductive life (Philipsson, 1981; Teller, 1997; Rust and Groeneveld, 2001).

Induced ovulation is another particular reproductive feature of alpacas. The female is stimulated during the mating as a need for releasing luteinizing hormone by the anterior pituitary into the bloodstream (Fernández-Baca et al., 1970; Bravo et al., 1990). The copulation time, between 10 and 50 min (Fernández-Baca, 1993), could be determining the amount of stimulus. On the other hand, Adams and Ratto (2013) suggest that the hormones segregation inducing ovulation could also be due to biochemical recognition of the seminal plasma after mating. Therefore, copulation time (CT) could be used as an indirect indicator of probability of success, as this trait could be related to both the amount of stimulus on the female and the probability of semen release.

Fertility is the final target of economic value trait that needs to be improved. It could be early approached by carrying out pregnancy diagnosis (PD) by ultrasound, which has been concluded to be the best technique to be used in camelids (Alarcón et al., 1990; Aba, 2014) and other species (Kähn, 1992). An early application of the technique reduces the accuracy of the diagnostic, but helps to monitor the reproductive efficiency in females and mainly in males (Pearson et al., 2014; Ferrer, 2014). In addition, a late diagnosis will result in losses of time. Thus, Bravo et al. (1997) proposed the application between 15 and 30 days, although Parraguez et al. (1997) reported increased accuracy from 23 to 34 days in alpacas and llamas. As a compromise, it was decided to diagnose pregnancies 21 days after mating

in this population. If pregnancy diagnosis results positive, then the female will give birth after a gestation length (GL) of about 11 months, with a high variation depending on the season (Davis et al., 1997; Rodríguez et al., 2014).

Several studies have been reported in Pacamarca experimental farm, in order to cumulate knowledge useful in a genetic improvement program (Gutiérrez et al., 2009, 2011, 2014; Cervantes et al., 2010; Pérez-Cabal et al., 2010; Paredes et al., 2014). In those, genetic parameters for several productive traits have been estimated, but nothing has been still done in the field of the reproduction genetics. The genetic relationship between reproductive and productive traits remains still also unknown. On the other hand, there is a tendency to include and increase the interest of reproductive traits in other species (Banks and Brown, 2009). However, these traits have not been planned to be used as selection objectives in alpacas to our knowledge.

The aim of this paper was to estimate the genetic parameters of some reproductive traits, as well as the genetic relationships among them and between them and other productive and morphological traits in alpacas, to evaluate their usefulness in breeding programs.

## 2. Material and methods

### 2.1. Data

Data used was obtained from PacoPro, the software used for management of information of Pacamarca experimental farm. This software integrates profuse information concerning all the activities leading to a better performance of alpacas. Pacamarca raises both ecotypes, Suri (SU) and Huacaya (HU), which are managed together except that breeding is only allowed within ecotype. Thus, two independent data sets have to be considered. Three subsets for each breed were obtained from the whole dataset:

- Reproductive traits: age at first service (AFS), age at first calving (AFC), copulation time (CT), pregnancy diagnosis at 21 days (PD), gestation length (GL) and calving interval (CI). PD was registered as a binary trait with 1 for negatives and 2 for positives.
- Fiber traits as described by Gutiérrez et al. (2009): fiber diameter (FD), standard deviation (SD), comfort factor (CF) and coefficient of variation (CV). These traits were computed from washed samples after minicored and 400 snippets of 2 mm using an Optical fiber Diameter Analyser (OFDA, IWTO-47-95).
- Morphological traits as described by Cervantes et al. (2010): density (DE), crimp (CR) in Huacaya ecotype or lock structure (LS) in Suri ecotype, head (HE), coverage (CO) and balance (BA).

Datasets were edited in order to exclude animals with identification errors or ambiguous birth dates. The availability of age at recording was mandatory and ranged from 61 to 7407 days across traits.

A distribution of pedigree records by color, sex and ecotype is shown in Table 1. Both ecotypes were grouped by coat color in three classes, with similar representation:



**Table 1**  
Number of pedigree records by color, sex and ecotype. HU, Huacaya; SU, Suri.

| Coat color | Sex | HU   | SU   | Total | HU (%) | SU (%) |
|------------|-----|------|------|-------|--------|--------|
| White      | ♂   | 1768 | 487  | 2255  | 29.0   | 29.4   |
|            | ♀   | 2149 | 575  | 2724  | 35.4   | 34.6   |
| Colors     | ♂   | 898  | 236  | 1134  | 14.8   | 14.5   |
|            | ♀   | 924  | 283  | 1207  | 15.1   | 17.3   |
| Black      | ♂   | 149  | 33   | 182   | 2.4    | 1.9    |
|            | ♀   | 198  | 42   | 240   | 3.3    | 2.3    |
| Total      |     | 6086 | 1656 | 7742  | 100.0  | 100.0  |

white (64%), colors (31%) and black (5%). The number of HU and SU animals in the pedigree was, respectively, 6086 and 1656 individuals. Number of records, mean and standard deviation of all the involved traits for HU and SU ecotypes are shown in Table 2. Concerning reproductive traits, the final total number of records available, respectively, for HU and SU ecotypes was 1369 and 334 for AFS, 679 and 175 for AFC, 15,736 and 4034 for both CT and PD, 4622 and 1252 for GL, and 3315 and 975 for CI. The number of records for fiber traits was 14,740 for HU and 4120 for SU. Records for morphological traits were 4501 in HU and 1216 in SU.

Seasonality was important in some of the reproductive analyzed traits. Distributions of IC records is shown in Fig. 1 for both SU and HU ecotypes as an example, but AFC and AFS had a similar pattern. However, distribution of the records for CT and GL became a continuous normal distribution (results not shown).

## 2.2. Methodology

Genetic parameters were estimated via a multitrait restricted maximum likelihood (REML) procedure applied to mixed linear models. Reproductive, morphological and fiber traits were analyzed together. Some traits were not Gaussian distributed. However, restricted maximum likelihood methodology has been shown to perform ideally in such circumstances (Goyache et al., 2003; Gutiérrez et al., 2007).

The model fitted for AFS, AFC, DE, CR, LS, HE, CO and BA was:

$$y = Xb + Zu + e$$

And the model fitted for CT, PD, GL, CI, FD, SD, CF and CV was:

$$y = Xb + Zu + Wp + e$$

**Table 2**  
Number of records, mean, standard deviation (sd) for all traits in Huacaya (HU) and Suri (SU) ecotypes.

| Traits                        | Ecotype | Records | Mean   | Standard deviation |
|-------------------------------|---------|---------|--------|--------------------|
| Age first service (AFS)       | HU      | 1369    | 754.5  | 168.6              |
|                               | SU      | 334     | 745.8  | 168.2              |
| Age first calving (AFC)       | HU      | 679     | 1177.0 | 221.0              |
|                               | SU      | 175     | 1194.8 | 267.8              |
| Copulation time (IT)          | HU      | 15,736  | 19.5   | 7.8                |
|                               | SU      | 4034    | 19.5   | 7.8                |
| Pregnancy diagnosis (PD)      | HU      | 15,736  | 1.30   | 0.5                |
|                               | SU      | 4034    | 1.31   | 0.5                |
| Gestation length (GL)         | HU      | 4622    | 341.9  | 10.4               |
|                               | SU      | 1252    | 342.8  | 10.0               |
| Calving interval (CI)         | HU      | 3315    | 470.1  | 213.1              |
|                               | SU      | 975     | 463.7  | 220.6              |
| Fiber diameter (FD)           | HU      | 14,738  | 22.9   | 4.2                |
|                               | SU      | 4122    | 24.9   | 5.0                |
| Standard deviation (SD)       | HU      | 14,738  | 5.4    | 1.1                |
|                               | SU      | 4120    | 6.5    | 1.5                |
| Comfort factor (CF)           | HU      | 14,738  | 88.3   | 14.5               |
|                               | SU      | 4122    | 79.9   | 19.8               |
| Coefficient of variation (CV) | HU      | 14,735  | 23.7   | 3.7                |
|                               | SU      | 4120    | 26.2   | 4.0                |
| Density (DE)                  | HU      | 4501    | 3.3    | 0.7                |
|                               | SU      | 1216    | 3.1    | 0.5                |
| Crimp (CR)                    | HU      | 4501    | 2.8    | 0.9                |
|                               | SU      | 1216    | 2.9    | 0.7                |
| Lock structure (LS)           | HU      | 4501    | 3.2    | 0.8                |
|                               | SU      | 1216    | 2.9    | 0.6                |
| Head (HE)                     | HU      | 4501    | 3.1    | 0.8                |
|                               | SU      | 1216    | 3.1    | 0.7                |
| Coverage (CO)                 | HU      | 4501    | 3.1    | 0.5                |
|                               | SU      | 1215    | 3.1    | 0.5                |
| Balance (BA)                  | HU      | 4499    | 3.1    | 0.5                |
|                               | SU      | 1215    | 3.1    | 0.5                |

AFS and AFC in days, CT in minutes, PD value in range de 1 (empty) to 2 (pregnancy), GL and CI in days, FD and SD in microns, CF and CV in percent (%), DE, CR, LS, HE, CO and BA value in range 1–5.

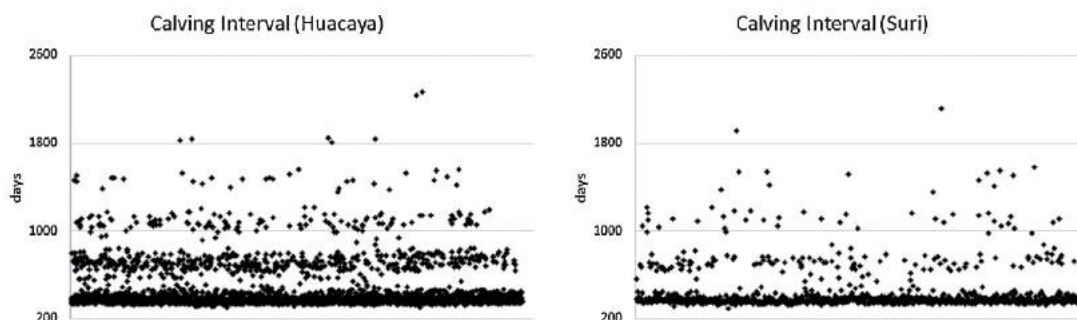


Fig. 1. Distribution of calving interval in Huacaya and Suri ecotypes.

$$\text{with } \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{p} \\ \mathbf{e} \end{pmatrix} \sim N \left( \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \mathbf{A} \otimes \mathbf{G}_0 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_p \otimes \mathbf{P}_0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I}_e \otimes \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \right)$$

where  $\mathbf{y}$  is the vector of observations,  $\mathbf{b}$  is the vector of fixed effects,  $\mathbf{u}$  is the vector representing the additive genetic effects,  $\mathbf{p}$  corresponds to the vector of permanent environments, and  $\mathbf{e}$  is the vector of residuals;  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Z}$  and  $\mathbf{W}$  are the incidence matrices for respectively fixed, genetic and permanent effects,  $\mathbf{I}_e$  the identity matrix of equal order to the number of records,  $\mathbf{I}_p$  the identity matrix of equal order to the number of permanent environmental subclasses,  $\mathbf{A}$  the numerator relationship matrix,  $\mathbf{R}_0$  the residual covariance matrix among measurements on the same animal,  $\mathbf{G}_0$  the covariance matrix for additive genetic effects,  $\mathbf{P}_0$  the covariance matrix for permanent environmental effects and  $\otimes$  the Kronecker product.

Regarding, the fixed effects included in the models for reproductive traits were: color (3 levels) and year of recording as contemporary group (14 levels) for all the reproductive traits and also age at mating as linear and quadratic covariate, and sex of calf (2 levels) for GL trait. The fixed effects for fiber traits were: color (3 levels), year of recording as contemporary group (14 levels), sex (2 levels) and age as linear and quadratic covariate. For the morphological traits the fixed effects were: color (3 levels), sex (2 levels) and year of recording as contemporary group (10 levels). HU and SU ecotypes were independently analyzed.

Genetic parameters were estimated using the VCE 6.0 program (Neumaier and Groeneveld, 1998).

### 3. Results

The heritabilities and repeatabilities obtained for the studied reproductive traits are first reported. Secondly, the genetic correlations between them are commented for both ecotypes. Subsequently the results obtained as regards genetic correlations with other production traits will be reported.

Estimates of heritabilities, repeatabilities and genetic correlations between all the involved traits are shown in Table 3 for HU and in Table 4 for SU. Standard errors of parameters were some higher in the SU ecotype because of

a lower number of records but sufficiently low to provide reliable parameters.

Estimated heritabilities for reproductive traits were high for AFC in both ecotypes, 0.45 for HU and 0.59 for SU. For the rest of traits, they tended to be low, being, respectively, for HU and SU ecotypes, 0.19 and 0.09 for AFS, 0.12 and 0.20 for GL, and 0.14 and 0.09 for CI. Heritabilities were very low for CT, 0.04 for HU and 0.05 for SU ecotypes, and 0.07 and 0.05 for PD, respectively. Permanent environmental component was almost negligible in all reproductive traits.

The correlations between reproductive traits were in general favorable and ranged from  $-0.96$  between PD and CI, to  $0.70$  between AFS and AFC in the HU ecotype. These figures were of  $-0.89$  and  $0.60$  for the same pairs of traits in SU ecotype. CT was moderately genetically related with AFC, AFS and GL ( $-0.42$ ,  $-0.29$  and  $-0.37$ , respectively) in HU, while only had a similar relationship with GL ( $-0.34$ ) in SU ecotype. Another two important favorable genetic correlations were also found between AFC and PD ( $-0.48$  and  $-0.75$  for, respectively, HU and SU ecotypes), and between AFC and CI ( $0.44$  and  $0.53$  for, respectively, HU and SU ecotypes). Finally, there were two additional important correlations between reproductive traits in SU involving GL with PD ( $-0.40$ ) and with CI ( $0.49$ ).

Absolute genetic correlations estimated between reproductive traits and fiber traits, and between reproductive traits and morphological traits were all of them lower than  $0.25$  in HU ecotype and always lower than  $0.35$  in SU ecotype, and were in general favorable. To name some unfavorable, the correlation between AFS and DE was  $0.24$  in HU ecotype, and those between AFS with SD and CV were, respectively,  $-0.32$  and  $-0.34$  in SU ecotype. But, they were not of a big concern given their low magnitude.

### 4. Discussion

The estimated genetic parameters for six reproductive traits in an experimental population of HU and SU ecotypes of alpacas, allow to evaluate them as potential candidate traits to be included as criteria in breeding programs.

This is the first time that heritability of reproductive traits have been estimated in HU and SU ecotypes of alpacas as well as their genetic correlation with economical important traits as fiber and morphological traits are considered (Cervantes et al., 2010).



**Table 3**

Heritabilities (in diagonal), between traits genetic correlations (above diagonal), permanent environmental variances ratio (row  $c^2$ ), repeatabilities (last row, R) and their corresponding standard errors (in brackets) for reproductive, productive and morphological traits in Huacaya ecotype. All heritabilities and genetic correlations higher than 0.20 in absolute value are in bold.

|       | AFS                | AFC                 | CT                  | PD                  | GL                  | CI                  | FD                 |                    |
|-------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| AFS   | <b>0.19 (0.02)</b> | <b>0.70 (0.04)</b>  | <b>-0.42 (0.05)</b> | 0.14 (0.05)         | 0.12 (0.04)         | -0.14 (0.05)        | -0.11 (0.03)       |                    |
| AFC   |                    | <b>0.45 (0.04)</b>  | <b>-0.29 (0.06)</b> | <b>-0.48 (0.03)</b> | 0.09 (0.05)         | <b>0.44 (0.04)</b>  | 0.03 (0.03)        |                    |
| CT    |                    |                     | <b>0.04 (0.01)</b>  | -0.18 (0.06)        | <b>-0.37 (0.04)</b> | 0.04 (0.05)         | <b>0.22 (0.04)</b> |                    |
| PD    |                    |                     |                     | <b>0.07 (0.01)</b>  | -0.05 (0.03)        | <b>-0.96 (0.01)</b> | -0.07 (0.02)       |                    |
| GL    |                    |                     |                     |                     | <b>0.12 (0.01)</b>  | 0.11 (0.04)         | -0.10 (0.03)       |                    |
| CI    |                    |                     |                     |                     |                     | <b>0.14 (0.01)</b>  | 0.17 (0.03)        |                    |
| FD    |                    |                     |                     |                     |                     |                     | <b>0.32 (0.01)</b> |                    |
| SD    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| CF    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| CV    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| DE    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| CR    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| HE    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| CO    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| BA    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |
| $c^2$ |                    |                     | <b>0.06 (0.01)</b>  | <b>0.00 (0.00)</b>  | <b>0.10 (0.01)</b>  | <b>0.00 (0.00)</b>  | <b>0.15 (0.01)</b> |                    |
| R     |                    |                     | <b>0.10</b>         | <b>0.07</b>         | <b>0.22</b>         | <b>0.14</b>         | <b>0.47</b>        |                    |
|       | SD                 | CF                  | CV                  | DE                  | CR                  | HE                  | CO                 | BA                 |
| AFS   | -0.19 (0.04)       | 0.15 (0.04)         | -0.18 (0.04)        | <b>0.24 (0.05)</b>  | 0.19 (0.04)         | 0.05 (0.03)         | 0.11 (0.03)        | 0.10 (0.04)        |
| AFC   | -0.02 (0.03)       | -0.06 (0.04)        | -0.05 (0.03)        | 0.05 (0.05)         | 0.09 (0.03)         | 0.11 (0.03)         | 0.19 (0.02)        | 0.134 (0.04)       |
| CT    | 0.16 (0.03)        | <b>-0.22 (0.04)</b> | 0.07 (0.03)         | -0.13 (0.03)        | -0.06 (0.02)        | <b>-0.22 (0.04)</b> | 0.05 (0.03)        | -0.15 (0.04)       |
| PD    | -0.03 (0.02)       | 0.10 (0.02)         | 0.02 (0.02)         | 0.10 (0.03)         | 0.03 (0.02)         | 0.02 (0.02)         | 0.04 (0.02)        | 0.08 (0.03)        |
| GL    | -0.06 (0.02)       | 0.11 (0.03)         | -0.03 (0.02)        | 0.08 (0.03)         | -0.19 (0.03)        | 0.04 (0.04)         | -0.08 (0.03)       | 0.07 (0.05)        |
| CI    | 0.05 (0.02)        | <b>-0.23 (0.03)</b> | -0.07 (0.03)        | -0.12 (0.03)        | -0.05 (0.03)        | -0.01 (0.03)        | -0.04 (0.03)       | -0.09 (0.03)       |
| FD    | <b>0.70 (0.03)</b> | <b>-0.96 (0.02)</b> | 0.21 (0.04)         | -0.23 (0.03)        | <b>-0.30 (0.03)</b> | -0.25 (0.03)        | 0.01 (0.03)        | -0.21 (0.03)       |
| SD    | <b>0.40 (0.01)</b> | <b>-0.74 (0.02)</b> | <b>0.845 (0.03)</b> | <b>-0.35 (0.03)</b> | <b>-0.52 (0.02)</b> | -0.12 (0.02)        | 0.05 (0.03)        | -0.14 (0.02)       |
| CF    |                    | <b>0.22 (0.01)</b>  | -0.32 (0.03)        | 0.22 (0.03)         | <b>0.30 (0.03)</b>  | 0.20 (0.03)         | -0.05 (0.03)       | 0.16 (0.04)        |
| CV    |                    |                     | <b>0.23 (0.01)</b>  | <b>-0.32 (0.03)</b> | <b>-0.43 (0.02)</b> | 0.02 (0.03)         | 0.08 (0.04)        | -0.03 (0.02)       |
| DE    |                    |                     |                     | <b>0.26 (0.01)</b>  | <b>0.79 (0.04)</b>  | 0.24 (0.04)         | -0.05 (0.04)       | <b>0.29 (0.03)</b> |
| CR    |                    |                     |                     |                     | <b>0.34 (0.01)</b>  | <b>0.31 (0.03)</b>  | 0.14 (0.04)        | <b>0.42 (0.03)</b> |
| HE    |                    |                     |                     |                     |                     | <b>0.37 (0.01)</b>  | <b>0.70 (0.03)</b> | <b>0.94 (0.03)</b> |
| CO    |                    |                     |                     |                     |                     |                     | <b>0.37 (0.01)</b> | <b>0.80 (0.02)</b> |
| BA    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                    | <b>0.21 (0.01)</b> |
| $c^2$ | <b>0.15 (0.01)</b> | <b>0.17 (0.01)</b>  | <b>0.09 (0.01)</b>  |                     |                     |                     |                    |                    |
| R     | <b>0.55</b>        | <b>0.39</b>         | <b>0.32</b>         |                     |                     |                     |                    |                    |

AFS, age at first service; AFC, age at first calving; CT, copulation time; PD, pregnancy diagnosis; GL, gestation length; CI, calving interval; FD, fiber diameter; SD, standard deviation; CF, comfort factor; CV, coefficient of variation; DE, density; CR, crimp; HE, head; CO, coverage; BA, balance.

This study has been carried out in order to explore the possibility of including reproductive performance as additional selection objective in a well-managed population of alpacas. These analyses have been carried out independently for both ecotypes, but, given that ecotypes differ in only a couple of genes (Presciutti et al., 2010), estimates were expected to be close similar between them.

Heritabilities for fiber and morphological traits, along with the genetic correlations between these two sets of traits were not different from those estimated by Gutiérrez et al. (2014) with about 30% less number of records. These parameters will not be discussed here as they are not of particular concern in this paper.

Estimated heritability for AFS (0.19 in HU ecotype and 0.09 in SU) resulted similar than that obtained in other fiber producing animals such as Norwegian and Polish goats in which a heritability of 0.13 was reported (Bagnicka et al., 2007). Heritabilities for AFC (0.45 in HU ecotype and 0.59 in SU) were much higher than the values of 0.24 reported in Asturiana de los Valles (Gutiérrez et al., 2002) and 0.22 in Asturiana de la Montaña (Baro et al., 2012), also higher than those estimated in dairy buffaloes in Brazil (0.16, Barros

et al., 2013) and in Iran (0.14, Hasanpur et al., 2011), in several goat breeds in herds of United States (0.23, García-Peniche et al., 2012) and in Brown Swiss cattle (0.02, Tiezzi et al., 2012). Values were similar to those found in Mexican Brahman cattle (0.46, Estrada-León et al., 2008).

Even though the estimated heritabilities of GL in HU and SU ecotypes were not too low, other authors attained higher values. Cervantes et al. (2010) reported a value of  $0.33 \pm 0.03$  in Asturiana de los Valles and Chud et al. (2014) estimated a heritability of  $0.38 \pm 0.03$  in Nellore beef cattle for this trait.

Concerning CI, the heritabilities found in HU and SU ecotypes were in the range reported in the literature, a value of 0.10 in the Asturiana de la Montaña (Baro et al., 2012), 0.13 in Asturiana de los Valles (Gutiérrez et al., 2002), 0.05 and 0.34 in dairy buffaloes, respectively, in Brazil and Iran (Barros et al., 2013; Hasanpur et al., 2011), 0.15 in Mexican Brahman cattle (Estrada-León et al., 2008), 0.02 and 0.03 in Polish and Norwegian (Bagnicka et al., 2007), and 0.05 in dairy goats (García-Peniche et al., 2012).

This analysis has been performed in order to check the possibility of including some reproductive trait as a



Table 4

Heritabilities (in diagonal), between traits genetic correlations (above diagonal), permanent environmental variances ratio (row  $c^2$ ), repeatabilities (last row, R) and their corresponding standard errors (in brackets) for reproductive, productive and morphological traits in Suri ecotype. All heritabilities and genetic correlations higher than 0.20 in absolute value are in bold.

|                | AFS                | AFC                | CT                 | PD                 | GL                 | CI                 | FD                 |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| AFS            | <b>0.09 (0.02)</b> | <b>0.60 (0.03)</b> | 0.22 (0.07)        | −0.24 (0.09)       | −0.31 (0.06)       | 0.20 (0.06)        | −0.18 (0.03)       |                    |
| AFC            |                    | <b>0.59 (0.04)</b> | −0.05 (0.08)       | −0.75 (0.07)       | −0.10 (0.07)       | <b>0.53 (0.07)</b> | 0.06 (0.05)        |                    |
| CT             |                    |                    | <b>0.05 (0.01)</b> | 0.16 (0.08)        | −0.34 (0.05)       | 0.06 (0.07)        | 0.19 (0.05)        |                    |
| PD             |                    |                    |                    | <b>0.05 (0.08)</b> | −0.40 (0.07)       | −0.89 (0.04)       | 0.04 (0.05)        |                    |
| GL             |                    |                    |                    |                    | <b>0.20 (0.02)</b> | <b>0.49 (0.07)</b> | −0.14 (0.04)       |                    |
| CI             |                    |                    |                    |                    |                    | <b>0.09 (0.01)</b> | 0.11 (0.05)        |                    |
| FD             |                    |                    |                    |                    |                    |                    | <b>0.50 (0.02)</b> |                    |
| SD             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| CF             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| CV             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| DE             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| LS             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| HE             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| CO             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| BA             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| c <sup>2</sup> |                    |                    | <b>0.04 (0.01)</b> | <b>0.00 (0.00)</b> | <b>0.02 (0.01)</b> | <b>0.02 (0.00)</b> | <b>0.08 (0.01)</b> |                    |
| R              |                    |                    | <b>0.09</b>        | <b>0.05</b>        | <b>0.22</b>        | <b>0.11</b>        | <b>0.58</b>        |                    |
|                | SD                 | CF                 | CV                 | DE                 | LS                 | HE                 | CO                 | BA                 |
| AFS            | −0.32 (0.03)       | 0.17 (0.04)        | −0.34 (0.05)       | 0.14 (0.06)        | −0.10 (0.05)       | 0.09 (0.04)        | −0.18 (0.05)       | 0.03 (0.03)        |
| AFC            | 0.11 (0.04)        | −0.02 (0.05)       | 0.06 (0.04)        | −0.10 (0.09)       | −0.01 (0.09)       | −0.25 (0.06)       | −0.27 (0.05)       | −0.29 (0.06)       |
| CT             | <b>0.20 (0.04)</b> | −0.23 (0.05)       | 0.15 (0.04)        | −0.03 (0.05)       | −0.30 (0.05)       | −0.06 (0.05)       | 0.02 (0.04)        | 0.06 (0.04)        |
| PD             | −0.16 (0.05)       | −0.04 (0.05)       | −0.25 (0.06)       | 0.07 (0.07)        | −0.14 (0.05)       | 0.13 (0.05)        | 0.15 (0.04)        | 0.18 (0.06)        |
| GL             | −0.05 (0.04)       | 0.15 (0.04)        | 0.04 (0.04)        | <b>0.22 (0.04)</b> | 0.09 (0.05)        | −0.04 (0.06)       | −0.04 (0.05)       | −0.19 (0.06)       |
| CI             | 0.17 (0.05)        | −0.15 (0.04)       | 0.18 (0.06)        | 0.07 (0.06)        | 0.04 (0.05)        | −0.12 (0.05)       | −0.07 (0.05)       | −0.15 (0.07)       |
| FD             | <b>0.78 (0.04)</b> | −0.98 (0.01)       | <b>0.27 (0.06)</b> | 0.19 (0.04)        | −0.22 (0.04)       | −0.09 (0.06)       | 0.13 (0.03)        | −0.09 (0.05)       |
| SD             | <b>0.50 (0.02)</b> | −0.80 (0.03)       | <b>0.81 (0.02)</b> | 0.09 (0.05)        | −0.25 (0.04)       | −0.08 (0.03)       | 0.10 (0.03)        | −0.10 (0.03)       |
| CF             |                    | <b>0.37 (0.02)</b> | −0.34 (0.05)       | −0.22 (0.04)       | <b>0.27 (0.04)</b> | 0.08 (0.05)        | −0.15 (0.03)       | 0.08 (0.05)        |
| CV             |                    |                    | <b>0.26 (0.01)</b> | −0.03 (0.05)       | −0.19 (0.04)       | −0.01 (0.04)       | 0.04 (0.04)        | −0.04 (0.03)       |
| DE             |                    |                    |                    | <b>0.16 (0.02)</b> | <b>0.36 (0.06)</b> | <b>0.72 (0.04)</b> | <b>0.68 (0.04)</b> | <b>0.57 (0.05)</b> |
| LS             |                    |                    |                    |                    | <b>0.20 (0.02)</b> | <b>0.62 (0.04)</b> | <b>0.35 (0.04)</b> | <b>0.71 (0.04)</b> |
| HE             |                    |                    |                    |                    |                    | <b>0.25 (0.02)</b> | <b>0.78 (0.04)</b> | <b>0.95 (0.02)</b> |
| CO             |                    |                    |                    |                    |                    |                    | <b>0.26 (0.03)</b> | <b>0.72 (0.04)</b> |
| BA             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    | <b>0.22 (0.02)</b> |
| c <sup>2</sup> | <b>0.12 (0.01)</b> | <b>0.14 (0.01)</b> | <b>0.10 (0.01)</b> |                    |                    |                    |                    |                    |
| R              | <b>0.62</b>        | <b>0.51</b>        | <b>0.36</b>        |                    |                    |                    |                    |                    |

AFS, age at first service; AFC, age at first calving; CT, copulation time; PD, pregnancy diagnosis; GL, gestation length; CI, calving interval; FD, fiber diameter; SD, standard deviation; CF, comfort factor; CV, coefficient of variation; DE, density; LS, lock structure; HE, head; CO, coverage; BA, balance.

selection objective in alpaca breeding programs. Looking at the estimated heritabilities for reproductive traits, their values suggest discarding CT and PD as possible artificial selection criterion because of their extremely low value. On one hand, PD would theoretically be one of the most important reproductive traits as directly addresses the success of the mating. However, it is a binary trait which leads also to a low heritability value (Altarriba et al., 1998). On the contrary, AFC or CI had a higher estimated heritability and an important genetic correlation with PD. In this sense, even though heritability for AFC was much higher than CI heritability, this last trait had the highest genetic correlation with PD. Another advantage of using CI instead of AFC is that CI is a trait affecting all the reproductive life of the female, while AFC only affects to the elapsed time from being born to the first calving. Anyway, what seems clear is the low usefulness of PD as selection criterion. Regarding CT, it does not seem a potentially interesting trait in breeding programs, but it has been included here in order to assess its possible influence on fertility, as well as the influence of younger animals in the CT as measured by its genetic correlation with AFS and AFC. As the genetic

correlation between CT and PD was very low, CT does not seem a good indicator of fertility and can be ignored as a useful trait in reproductive management. The only interesting genetic correlation found involving CT, was that with AFS in HU, showing that in this ecotype, younger animals need further time for copulation.

AFS must be also discarded as a selection objective. First, it has an important management component since it is the farmer who decides the time the animal need to be used for mating. Only part of this decision seems to be dependent on the genetic background of the animal. On the other hand, AFC has an important genetic correlation with AFS in both ecotypes with a much higher heritability. Summarizing, animals with a shorter AFC will have a higher rate of pregnancy (genetic correlation of −0.48 with PD in HU and −0.75 in SU), and will spend a shorter open days period (genetic correlation of 0.44 with CI in HU and 0.53 in SU). Moreover, the heritability of this trait is by far the highest among the reproductive traits. It is also interesting to note that AFC is strongly conditioned by the seasonality of the reproduction in alpacas. Therefore, reducing AFC trait several weeks could result in reducing 1 year the beginning of



reproductive age, with the consequent strong benefit for the farmers. Something similar could happen with CI trait. Again, considering also CI as a valuable trait and economically important trait to select would also be sensible, it has not too low heritability (0.14 in HU and 0.09 in SU), it has the highest genetic correlation with PD (−0.96 in HU and −0.89 in SU), and a medium genetic correlation with AFC. Moreover, in SU it has also a favorable genetic correlation with GL (0.49), another trait contributing to modulate the days open. Shortening CI would lead to females being pregnant under fewer attempts and males could also mate a higher number of females. In addition, easiness to becoming pregnant would increase the number of births at the starting of the campaign, when the pasture has higher quality favoring the milk production of the mothers and lowering the risk of respiratory diseases which are more frequent starting the winter.

Another point to discuss is the genetic relationship that reproductive traits would have with fiber and morphological traits. Fortunately, those relationships were never importantly unfavorable. On the other hand, these relationships were not general across ecotypes and could be due only to genetic associations not based in a real genetic background. In HU, looking at the genetic correlations higher than 0.20 in absolute value, only a small unfavorable genetic correlation (0.24) appeared between AFS and DE, but AFS has been discarded above as a potential selection objective. Regarding favorable genetic correlations, only CI had a small value of −0.23 with CF, suggesting that animals with shorter CI will tend to have a slightly better CF of the fiber. Nevertheless, in SU ecotype, the reproductive trait most related with morphology was AFC. Thus animals calving younger will tend to have better HE (−0.25), CO (−0.27) and BA (−0.29). Regarding fiber traits, AFS had an unfavorable genetic correlation with SD (−0.32) and CV (−0.34), the traits measuring the variability of the fiber. However, as AFC had null genetic correlation with these traits, it seems that the management decision of mating the animal is based on some appearance of the fleece that the farmer identified as maturity of the animals. On the other hand, as previously discussed, AFS was also discarded as a potential selection criterion.

Summarizing, heritabilities and genetic correlations among reproductive traits were very similar across ecotypes. Only AFC and CI would be useful in breeding programs because they had consistent heritabilities, bringing about a desired correlated positive response in pregnancy. Genetic correlations of these traits with other economically important fiber and morphological traits were not important in both ecotypes.

## 5. Conclusion

In this study the genetic parameters for six reproductive traits were estimated in HU and SU ecotypes of alpacas, in order to evaluate them as potential candidate traits to be included as criteria in breeding programs. A detailed inspection of the estimated genetic parameters led to the conclusion that only AFC and CI traits would be useful in such breeding programs. The high heritability of AFC would

ensure a quick genetic response resulting in higher selection intensity, and consequently increasing the genetic response to selection in productive traits. The availability of higher number of animals born would also bring about more income to the farmer when selling or slaughtering animals. Despite its smaller heritability, also CI would be advised to be included among the selection criteria. The success in the selection response for this trait would have repercussion in each of the pregnancies of each animal, and fertility would increase as shown by the important genetic correlation it has with diagnosed pregnancies.

A selection index including AFC and/or CI as selection criteria would be advised in HU, but first studying the appropriate weights ensuring the desired genetic proportional response (Gutiérrez et al., 2014). It might also be done in SU, but in this case, the favorable genetic correlations found ensure that these traits are being indirectly selected in this ecotype.

## Conflicts of interest

None.

## References

- Aba, M., 2014. Anatomy and physiology of reproduction in the female llama and alpaca. In: *Llama and Alpaca Care*. Elsevier, St Louis, pp. 140–150 (Chapter 14).
- Adams, G., Ratto, M., 2013. Ovulation-inducing factor in seminal plasma: a review. *Anim. Reprod. Sci.* 136, 148–156.
- Alarcón, V., Sumar, J., Riera, G., Foote, W., 1990. Comparison of three methods of pregnancy diagnosis in alpacas and llamas. *Theriogenology* 34, 1119–1127.
- Altarriba, J.L., Varona, L.A., García-Cortés, A., Moreno, C., 1998. Bayesian inference of variance components for litter size in Rasa Aragonesa sheep. *J. Anim. Sci.* 76, 23–28.
- Bagnicka, E., Wallin, E., Lukaszewicz, M., Adnøy, T., 2007. Heritability for reproduction traits in Polish and Norwegian populations of dairy goats. *Small Rumin. Res.* 68, 256–262.
- Banks, R.G., Brown, D.J., 2009. Genetic improvement in the Australasian Merino – management of a diverse gene pool for changing markets. *Anim. Genet. Resour. Inf.* 45, 29–36.
- Baro, J.A., Carleos, C., Menéndez-Buxadera, A., Rodríguez-Castañón, A., Cañón, J., 2012. Genetic variability underlying maternal traits of Asturiana de la Montaña beef cattle. *Span. J. Agric. Res.* 10, 69–73.
- Barros, C., da, C., Aspilcueta-Borquis, R.R., Tonhati, H., Fraga, A.B., 2013. Genetic parameters for productive and reproductive traits for milk buffalo in Brazil. *Buffalo Bull.* 32, 688–691.
- Bourdon, R.M., Brinks, J.S., 1983. Genetic environmental and phenotypic relationships among gestation length, birth weight, growth traits and age at first calving in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 55, 543–553.
- Bravo, W.P., Fowler, M.R., Stabenfeldt, B.H., Lasley, B.L., 1990. Endocrine responses in the llama to copulation. *Theriogenology* 33, 691–699.
- Bravo, P.W., Solis, P., Ordóñez, C., Alarcón, V., 1997. Fertility of the male alpaca: effect of daily consecutive breeding. *Anim. Reprod. Sci.* 46, 305–312.
- Cervantes, I., Pérez-Cabal, M.A., Morante, R., Burgos, A., Salgado, C., Nieto, B., Goyache, F., Gutiérrez, J.P., 2010. Genetic parameters and relationships between fibre and type traits in two breeds of Peruvian alpacas. *Small Rumin. Res.* 88, 6–11.
- Chud, T., Caetano, S., Buzanskas, M., Grossi, D., Guidolin, D., Nascimento, G., Rosa, J., Lobo, R., Munari, D., 2014. Genetic analysis for gestation length, birth weight, weaning weight, and accumulated productivity in Nelore beef cattle. *Livest. Sci.* 170, 16–21.
- Davis, G., Dodds, K., Moore, G., Bruce, G., 1997. Seasonal effects on gestation length and birth weight in alpacas. *Anim. Reprod. Sci.* 46, 297–303.
- Estrada-León, R.J., Magaña, J.G., Segura-Correa, J.C., 2008. Parámetros genéticos para caracteres reproductivos de vacas Brahman en un hato del sureste de México. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 8, 259–263.
- Fernández-Baca, S., 1993. Manipulation of reproductive functions in male and female new world camelids. *Anim. Reprod. Sci.* 33, 307–323.

- Fernández-Baca, S., Madden, D.H.L., Novoa, C., 1970. Effects of different mating stimuli on induction of ovulation in the alpaca. *J. Reprod. Fertil.* 22, 261–267.
- Ferrer, M.S., 2014. Diagnosis of pregnancy and evaluation of high-risk pregnancy. In: *Llama and Alpaca Care*. Elsevier, St Louis, pp. 250–256 (Chapter 22).
- García-Peniche, T.B., Montaldo, H.H., Valencia-Posadas, M., Wiggins, G.R., Hubbard, S.M., Torres-Vasquez, J.A., Shepard, L., 2012. Breed differences over time and heritability estimates for production and reproduction traits of dairy goats in the United States. *J. Dairy Sci.* 95, 2707–2717.
- Goyache, F., Gutiérrez, J.P., Álvarez, I., Fernández, I., Royo, L.J., Gomez, E., 2003. Genetic analysis of calf survival at different preweaning ages in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 83, 13–20.
- Gutiérrez, J.P., Alvarez, I., Fernandez, I., Royo, L.J., Diez, J., Goyache, F., 2002. Genetic relationships between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 78, 215–222.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Fernández, I., Álvarez, I., Royo, L.J., 2007. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 85, 69–75.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Burgos, A., Cervantes, I., 2009. Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livest. Sci.* 123, 193–197.
- Gutiérrez, J.P., Varona, L., Pun, A., Morante, R., Burgos, A., Cervantes, I., Pérez-Cabal, M.A., 2011. Genetic parameters for growth of fiber diameter in alpacas. *J. Anim. Sci.* 89, 2310–2315.
- Gutiérrez, J.P., Cervantes, I., Pérez-Cabal, M.A., Burgos, A., Morante, R., 2014. Weighting fibre and morphological traits in a genetic index for an alpaca breeding program. *Animal* 8 (3), 360–369.
- Hasanpur, K., Shahrababak, M.M., Sadeghi, M., Kiyanzad, D., 2011. Estimation of environmental factors effects and genetic parameters of some reproductive traits of Iranian buffaloes. In: *SAADC*, vol. III, pp. 787–792.
- Kahn, W., 1992. Ultrasonography as a diagnostic tool in female animal reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 28, 1–10.
- Neumaier, A., Groeneveld, E., 1998. Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet. Sel. Evol.* 30, 3–26.
- Paredes, M.M., Membrillo, A., Gutiérrez, J.P., Cervantes, I., Azor, P.J., Morante, R., Alonso-Moraga, A., Molina, A., Muñoz-Serrano, A., 2014. Association of microsatellite markers with fiber diameter trait in Peruvian alpacas (*Vicugna pacos*). *Livest. Sci.* 161, 6–16.
- Parraguez, V., Cortéz, S., Gazitúa, F., Ferrando, G., MacNiven, V., Raggi, L., 1997. Early pregnancy diagnosis in alpaca (*Lama pacos*) and llama (*Lama glama*) by ultrasound. *Anim. Reprod. Sci.* 47, 113–121.
- Pearson, L.K., Rodriguez, J.S., Tibary, A., 2014. Breeding management. In: *Llama and Alpaca Care*. Elsevier, St Louis, pp. 162–168 (Chapter 16).
- Pérez-Cabal, M.A., Cervantes, I., Morante, R., Burgos, A., Goyache, F., Gutiérrez, J.P., 2010. Analysis of the existence of major genes affecting alpaca fiber traits. *J. Anim. Sci.* 88, 3783–3788.
- Philipsson, J., 1981. Genetic aspects of female fertility in dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 8, 307–319.
- Presciuttini, S., Valbonesi, A., Apaza, N., Antonini, M., Huanca, T., Renieri, C., 2010. Fleece variation in alpaca (*Vicugna pacos*): a two-locus model for the Suri/Huacaya phenotype. *BMC Genet.* 11, 70–77.
- Quispe, E.C., Rodríguez, T.C., Iñiguez, L.R., Mueller, J.P., 2009. Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña, y guanaco en Sudamérica. *Anim. Genet. Resour. Inf.* 45, 1–14.
- Rodríguez, J.S., Pearson, L.K., Tibary, A., 2014. Parturition and obstetrics. In: *Llama and Alpaca Care*. Elsevier, St Louis, pp. 274–286 (Chapter 24).
- Rust, T., Groeneveld, E., 2001. Variance component estimation on female fertility traits in beef cattle. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 31, 131–141.
- Taller, G., 1997. Genetic and breeding for fertility. In: *Proceedings of International Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle: Fertility and Reproduction*, Grub, Germany, November 23–25, Bulletin 18, pp. 55–61.
- Tiezzi, F., Maltecca, C., Cecchinato, A., Penasa, M., Bittante, G., 2012. Genetic parameters for fertility of dairy heifers and cows at different parities and relationships with production traits in first lactation. *J. Dairy Sci.* 95, 7355–7362.
- Tonhati, H., Vascocellos, F.B., Alburquerque, L.G., 2000. Genetic aspects of productive and reproductive traits in a murray buffalo herd in Sao Paulo, Brazil. *J. Anim. Breed. Genet.* 117, 331–339.
- Van der Westhuizen, R.R., Schoeman, S.J., Jordaan, G.F., Van Wyck, J.B., 2000. Heritabilities of reproductive traits in a beef cattle herd using a multitraits analysis. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 30 (Suppl. 1), 140–141.







#### **IV. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES DE CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA PREDESTETE EN ALPACAS Y SU RELACION CON OTROS CARACTERES DE INTERES**



#### 4.1. Resumen

El objetivo de este estudio fue estimar los parámetros genéticos para caracteres de crecimiento y supervivencia predestete, así como su correlación genética con los caracteres reproductivos, productivos y morfológicos en alpacas. Los datos fueron colectados desde 2001 al 2015 en la finca experimental Pacamarca. El conjunto de datos contiene información de 4.330 hembras y 3.788 machos correspondientes a 6.396 y 1.722 animales respectivamente de los ecotipos *Huacaya* y *Suri*. El número de datos registrados para los respectivos ecotipos fue 5.494 y 1.461 para el peso al nacimiento, 5.429 y 1.431 para la alzada a la cruz al nacimiento, 3.320 y 896 para el peso al destete y la ganancia media diaria desde el nacimiento hasta el destete, 3.317 y 896 para la alzada a la cruz al destete, y 5.514 y 1.474 para la supervivencia al destete. Los caracteres reproductivos analizados fueron la edad al primer parto y el intervalo entre partos. Los caracteres productivos fueron el diámetro de la fibra, la desviación estándar del diámetro de fibra, factor de confort y el coeficiente de variación del diámetro de fibra. Los caracteres morfológicos analizados fueron densidad, rizo de la fibra en *Huacaya* y la estructura de la mecha en el *Suri*, conformación de la cabeza, cobertura y el aspecto equilibrado general del animal. En cuanto a los caracteres predestete, el análisis del modelo incluyó el efecto genético aditivo, el efecto genético materno y el residuo, con el sexo, el color de la capa, el número de parto, y el mes-año como grupo contemporáneo como efectos sistemáticos, y la edad al destete como covariable lineal para el peso al destete y la alzada a la cruz al destete. Las heredabilidades directas para *Huacaya* y *Suri* fueron respectivamente 0,50 y 0,34 para peso al destete, 0,36 y 0,66 para alzada a la cruz al destete y 0,45 y 0,20 para la ganancia media diaria. Las heredabilidades maternas estimadas para *Huacaya* y *Suri* fueron respectivamente 0,25 y 0,38 para peso al nacimiento, 0,18 y 0,32 para la alzada a la cruz al nacimiento, 0,29 y 0,39 para peso al destete, 0,19 y 0,26 para alzada a la cruz al destete y 0,27 y 0,36 para la ganancia media diaria. Las correlaciones genéticas entre efectos directos dentro de los caracteres predestete fueron altos y favorables, mientras que fueron bajas entre los efectos genéticos directos de otros caracteres y los efectos genéticos maternos de los caracteres de crecimiento y supervivencia predestete. Las correlaciones genéticas



de los caracteres predestete con los caracteres de fibra fueron moderadas y desfavorables, mientras que con los caracteres morfológicos dichas correlaciones fueron altas y favorables para *Suri*, pero no relevantes para la *Huacaya*. Con los caracteres reproductivos las correlaciones genéticas de los caracteres de crecimiento y supervivencia predestete fueron favorables para el efecto genético directo, pero desfavorables para el efecto genético materno. Si la producción de carne fuera definida como objetivo de selección, ésta debería basarse en el efecto genético directo para el peso al destete, pero no en el efecto genético materno que ha demostrado tener menos relevancia.

**4.2. Genetic parameters estimation for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpaca. 2017. *Animal*, in press.**

## Genetic parameters estimation for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpaca

A. Cruz<sup>1</sup>, I. Cervantes<sup>2</sup>, A. Burgos<sup>1</sup>, R. Morante<sup>1</sup> and J.P. Gutiérrez<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Fundo Pacamarca – INCA TOPS S.A., Avda. Miguel Forga 348, Arequipa, Perú; <sup>2</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s-n. E-28040-Madrid, Spain

(Received 11 April 2016; Accepted 9 September 2016)

*The aim of this study was to estimate the genetic parameters for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpacas. The data were collected from 2001 to 2015 in the Pacamarca experimental farm. The data set contained data from 4330 females and 3788 males corresponding to 6396 and 1722 animals for Huacaya and Suri variants, respectively. The number of records for Huacaya and Suri variants were 5494 and 1461 for birth weight (BW), 5429 and 1431 for birth withers height (BH), 3320 and 896 for both weaning weight (WW) and average daily gain (DG) from birth to weaning, 3317 and 896 for weaning withers height (WH), and 5514 and 1474 for survival to weaning. The reproductive traits analyzed were age at first calving and calving interval. The fiber traits were fiber diameter (FD), standard deviation of FD (SD), comfort factor and coefficient of variation of FD and the morphological traits studied were density, crimp in Huacaya and lock structure in Suri, head, coverage and balance. Regarding preweaning traits, model of analysis included additive, maternal and residual random effects for all traits, with sex, coat color, number of calving, month-year and contemporary group as systematic effects, and age at weaning as linear covariate for WW and WH. The most relevant direct heritabilities for Huacaya and Suri were 0.50 and 0.34 for WW, 0.36 and 0.66 for WH, 0.45 and 0.20 for DG, respectively. Maternal heritabilities were 0.25 and 0.38 for BW, 0.18 and 0.32 for BH, 0.29 and 0.39 for WW, 0.19 and 0.26 for WH, 0.27 and 0.36 for DG, respectively. Direct genetic correlations within preweaning traits were high and favorable and lower between direct and maternal genetic effects. The genetic correlations of preweaning traits with fiber traits were moderate and unfavorable. With morphological traits they were high and positive for Suri but not for Huacaya and favorable for direct genetic effect but unfavorable for maternal genetic effect with reproductive traits. If the selection objective was meat production, the selection would have to be based on the direct genetic effect for WW but not on the maternal genetic effect that has been shown to have less relevance. Other weaning traits such as WH or DG would be indirectly selected.*

**Keywords:** alpaca, genetic parameters, preweaning traits, fiber, genetic correlations

### Implications

Selection alpacas for meat and fiber traits can be interesting in developing rural communities in Peru, but research for relationships with other traits is needed. Genetic parameters obtained here showed high expectation of success if selection was conducted to increase weaning weight, also producing alpacas with better performance in animal conformation in animal show fairs. However, it will produce animals with slightly coarser fiber. Correlated changes in morphological and reproductive traits would have small relevance. Combined selection can be used. If not negative impact was

desired in any trait, but in this case improvement would be lower in all of them and mainly in weaning and fiber traits.

### Introduction

As a consequence of Spanish discovering America carrying their own livestock, alpacas were relegated to the rugged highlands of the Andes, this is currently their resource to meet the indispensable energy to survive, to breed, to produce fiber and to nurse offspring. Under this scenario alpaca livestock is still the economic livelihood of many families who depend on their products and by-products, such as fiber and meat (Quispe *et al.*, 2009). While producing fiber has an annual return, alpaca meat has a short-term trading, thus

<sup>†</sup> E-mail: gutgar@vet.ucm.es

Cruz, Cervantes, Burgos, Morante and Gutiérrez

becoming an important economic income in the high Andean families. Also, alpacas are the only animal protein supply in some cases (Wheeler, 1993).

Peru is the largest country in the world breeding alpacas, with a population over 3.5 million of animals, because of that, the government has approved many regulations in order to promote alpaca show fairs and production of quality fiber, but the best animals in morphological competitions are not always the best animals producing fiber (Cervantes *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2015). As a consequence there might be low genetic improvement due to the possible low or null genetic correlations between the criteria used to choose the best morphological and productive animals. It is not clearly delimited the selection objective in alpacas in Peru. For the textile industry the added value is obtained from the quality of the fiber measured by the fineness and low variability of fiber diameter, whereas for the developing communities they are also, or even more important, the fleece weight and traits regarding morphological competitions or the total weight of animals weaned. Given the underdevelopment of rural areas, the ideal alpaca, as thought by local breeders, would produce quality fiber, with a good conformation to win morphological alpaca shows and simultaneously provide a good income in the short-term producing meat. On the other hand, consumption of camelids meat is increasing because of its healthy properties, highlighting the low cholesterol level and the high yield in percentage of carcass to slaughter, 54.3% in alpacas reported by Smith *et al.* (2015), or values between 46.2% and 59.4% in Chilean llama's (Mamani-linares and Gallo, 2013). Among South American camelids the llama is phenotypically the best adapted for meat production while the alpaca is mainly bred for fiber but also for meat as a secondary product. Some biometric traits such as birth weight (BW), weaning weight (WW) and weaning withers height (WH), could be of interest for meat production. Even though traits measured at weaning are usually defined as one of the possible selection objectives in breeding programs, traits measured at birth are also usually registered and could be used as selection criteria if they were highly heritable having a strong genetic correlation with the formers.

Significant correlations between size and weight traits have been reported in llamas (Wurzinger *et al.*, 2005). Regardless age, the larger animals have been shown to produce greater benefits in llamas at slaughtering (Cristofanelli *et al.*, 2005). However, no genetic correlations have been reported between this type of traits and fiber performance. Preweaning traits are important in meat livestock species. These traits are affected by maternal influence, which has to be modeled in genetic evaluation for a better fit but also because its genetic component can be also selected if needed and because of possible genetic relationships with other interesting traits. Survival at 15 days is another important economic trait in alpacas. Because of the economic impact, survival has been analyzed in other species, usually as a binary trait, as farrowing survival until 15 days after birth, or as survival from 15 days to preweaning, similar to survival analyzed in piglets reported by Knol *et al.* (2002).

In Peru the main goal remains being the production of fine fiber, but there are opportunities for trade, selling meat or live animals. Some interesting traits to improve from this side of the production would be the weaning weight or the number of weaned animals, but also carcass performance and carcass quality traits. Hence it seems to be important assessing the genetic parameters for growth and survival traits and their genetic correlation with fiber, morphological and reproductive traits. Genetic parameters for several productive, morphological and reproductive traits have been previously estimated, but nothing has still been done about preweaning traits and their relationship to the current selection objectives. Then, the aim of this work was to estimate genetic parameters for preweaning traits and their genetic relationship with fiber, morphological and reproductive traits as a first step to consider the possibility of including some of them as selection criteria in alpacas.

## Material and methods

### Data

Data were collected from 2001 to 2015 in the Pacamarca experimental farm in southern Peru. Huacaya and Suri variants are raised by this farm. They have been called breeds in the past, but they will be called variants here given that it has been shown that these varieties are explained by a very low number of genes (Presciuttini *et al.*, 2010). Records were obtained from PacoPro v.5.2, the software used for animal husbandry management of Pacamarca experimental farm that contained 4330 females and 3788 males from 6396 and 1722 animals for Huacaya and Suri variants, respectively. For the Huacaya variant, there were 5871 animals with records, 154 sires with progeny in the data, 32.37 average offspring per sire, 1457 dams with progeny in the data, 87 sires with records and offspring and 750 dams with records and offspring. For the case of the Suri variant, there were 1580 animals with records, 70 sires with progeny in the data, 20.34 average offspring per sire, 440 dams with progeny in the data, 22 sires with records and offspring and 177 dams with records and offspring. PacoPro v.5.2 integrates profuse information concerning all the activities leading to a better management of alpacas. Both Huacaya and Suri variants are bred in Pacamarca, where they are managed together except that mating is restricted within variant. Thus, two independent data sets have to be considered. Registered traits included BW, WW, birth withers height (BH), WH, and average daily gain (DG) from birth to weaning; survival at weaning (SW) was also registered and analyzed as a binary trait with one being scored for death and two for alive animals. SW trait was not Gaussian distributed. However, restricted maximum likelihood methodology has been shown to perform ideally in such circumstances (Roehe, 1999; Ligda *et al.*, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2007). These traits were analyzed jointly with others in order to assess the genetic correlations among all of them. Therefore, two additional sets of traits were used:

(a) Reproductive traits as described by Cruz *et al.* (2015): Age at first calving as the age in days of the mother when her

first birth and calving interval as the time in days between two consecutive births. (b) Fiber traits as described by Gutiérrez *et al.* (2009) and Cervantes *et al.* (2010): fiber diameter (FD), comfort factor (CF) this is defined as the percentage of fiber with  $<30\ \mu\text{m}$ , standard deviation of FD (SD) and coefficient of variation of FD (CV). Both SD and CV address the variability of the sample, the first one of interest for the textile industry, and the second one usually accounted to score animals in shows. More important than variability, and given that the fiber diameter distribution is skewed to the right, what really matters is the percentage of fibers exceeding 30 microns which are attributed to be causing to them the responsibility of prickling. This is the reason of using CF. These traits were recorded from washed samples after minicored and 400 snippets of 2 mm using an optical fiber diameter analyzer. It is necessary to clarify that there is a very relevant fiber diameter variation along the fleece, which is usually removed by separating fleece portions in the classing shed at the alpaca fiber processing facility. That is not studied in this text. SD and CV are instead addressing the remaining variation within staple. (c) Subjective morphological traits scored from 1 to 5 as described by Cervantes *et al.* (2010): Density of fiber, crimp of fiber in Huacaya and lock structure of fiber in Suri, head conformation, coverage of legs and balance between head, body and legs. Note that lock structure is used in this context to describe the particular light crimp of Suri fleece unlike Huacaya.

Data sets were edited in order to exclude animals with identification errors or ambiguous birth dates. The age at recording was mandatory and ranged from 61 to 7212 days across traits. The number of Huacaya and Suri animals in the pedigree file was respectively 6396 and 1722 individuals. Number of records and mean for all the involved traits for Huacaya and Suri variants are shown in Table 1.

## Methods

Genetic parameters were estimated via a multitrait restricted maximum likelihood procedure applied to mixed linear models. Prewaning, reproductive, morphological and fiber traits were analyzed all together.

The model fitted for age at first calving, density, crimp, lock structure, head, coverage and balance was:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$$

The model fitted for calving interval, FD, SD, CF and CV was:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{Pp} + \mathbf{e}$$

and the model fitted for BW, BH, WW, WH, DG and SW was:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{Wm} + \mathbf{e}$$

$$\text{with } \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{m} \\ \mathbf{p} \\ \mathbf{e} \end{pmatrix} \sim N \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{bmatrix} \mathbf{A} \otimes \mathbf{G}_0 & \mathbf{A} \otimes \mathbf{C}_0 & 0 & 0 \\ \mathbf{A} \otimes \mathbf{C}_0 & \mathbf{A} \otimes \mathbf{M}_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I}_p \otimes \mathbf{P}_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{I}_e \otimes \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \right),$$

## Genetic parameters for preweaning traits in alpaca

**Table 1** Number of records and means in Huacaya and Suri variants

|                                            | Huacaya variant |        | Suri variant |         |
|--------------------------------------------|-----------------|--------|--------------|---------|
|                                            | Records         | Mean   | Records      | Mean    |
| <b>Prewaning traits</b>                    |                 |        |              |         |
| BW (kg)                                    | 5494            | 7.59   | 1461         | 7.69    |
| BH (cm)                                    | 5429            | 55.33  | 1431         | 55.4    |
| WW (kg)                                    | 3320            | 24.51  | 896          | 24.2    |
| WH (cm)                                    | 3317            | 72.55  | 896          | 72.13   |
| DG (kg/day)                                | 3320            | 0.1    | 896          | 0.1     |
| SW (scored one death or two alive)         | 5514            | 1.9    | 1474         | 1.89    |
| <b>Reproductive traits</b>                 |                 |        |              |         |
| Age at first calving (day)                 | 679             | 1177   | 175          | 1194.83 |
| Calving interval (day)                     | 3315            | 470.1  | 975          | 463.74  |
| <b>Fiber traits</b>                        |                 |        |              |         |
| FD ( $\mu\text{m}$ )                       | 14738           | 22.87  | 4122         | 24.87   |
| SD of FD ( $\mu\text{m}$ )                 | 14738           | 5.35   | 4120         | 6.45    |
| CF (%)                                     | 14738           | 88.33  | 4122         | 79.89   |
| CV of FD (%)                               | 14735           | 23.69  | 4120         | 26.23   |
| <b>Conformation traits (scored 1 to 5)</b> |                 |        |              |         |
| Density of fiber                           | 4501            | 3.25   | 1216         | 3.13    |
| Crimp and lock structure of fiber          | 4501            | 2.78   | 1216         | 2.89    |
| Head conformation                          | 4501            | 3.15   | 1216         | 2.94    |
| Coverage of legs                           | 4501            | 3.08   | 1216         | 3.14    |
| Balance                                    | 4499            | 3.11   | 1215         | 3.05    |
| <b>Covariate</b>                           |                 |        |              |         |
| Age at weaning (days)                      | 3320            | 167.33 | 896          | 168.23  |

BW = birth weight; BH = birth withers height; WW = weaning weight; WH = weaning withers height; DG = average daily gain; SW = survival to weaning; FD = fiber diameter; SD = standard deviation; CF = comfort factor; CV = coefficient of variation.

where,  $\mathbf{y}$  is the vector of observations,  $\mathbf{b}$  the vector of fixed effects,  $\mathbf{u}$  the vector representing the additive genetic effects,  $\mathbf{m}$  the vector representing the maternal genetic effects,  $\mathbf{p}$  the vector of permanent environments of individuals for fiber traits and calving interval,  $\mathbf{e}$  the vector of residuals;  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{P}$  and  $\mathbf{W}$  the incidence matrices for fixed, direct genetic, permanent and maternal genetic effects, respectively,  $\mathbf{I}_e$  the identity matrix of equal order to the number of records,  $\mathbf{I}_p$  the identity matrix of equal order to the number of permanent environmental subclasses,  $\mathbf{A}$  the numerator relationship matrix,  $\mathbf{R}_0$  the residual covariance matrix among measurements on the same animal,  $\mathbf{G}_0$  the covariance matrix for additive genetic effects,  $\mathbf{M}_0$  the covariance matrix for maternal genetic effects,  $\mathbf{C}_0$  the matrix for covariance between direct and maternal genetic effects,  $\mathbf{P}_0$  the covariance matrix for permanent environmental effects and  $\otimes$  the Kronecker product.

Heritability and genetic correlations were obtained from the variance components as follows:

$$h_d^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}; h_m^2 = \frac{\sigma_m^2}{\sigma_p^2}; r_g = \frac{\sigma_{am}}{\sqrt{\sigma_a^2 \sigma_m^2}}$$

where,  $h_d^2$  is the heritability for direct genetic effect,  $h_m^2$  the maternal heritability,  $\sigma_a^2$  the direct additive genetic variance,



Cruz, Cervantes, Burgos, Morante and Gutiérrez

$\sigma_m^2$  the maternal additive genetic variance,  $\sigma_p^2$  the phenotypic variance,  $r_g$  the correlation between both direct and maternal genetic effects, and  $\sigma_{am}$  the covariance between both direct and maternal genetic effects.

The fixed effects included in the models for BW, WW, BH, WH and SW were: sex (two levels), color (three levels, white, cream and black), number of calving (11 levels, grouping also in the last level those are >11) and month-year of calving as contemporary group (44 levels) for all of them, and also age at weaning as linear covariate for WW and WH. Combining both the month and the year as a unique month-year fixed effect as contemporary group, allowed removing the influence of both effects and its interaction. Thus, only animals performing in a particular month within a particular year belonged to the same level of the effect. The fixed effects for reproductive traits were: color (three levels) and year of recording as contemporary group (14 levels), and also age as linear and quadratic covariate. The fixed effects for fiber traits were: color (three levels), year of recording as contemporary group (14 levels), sex (two levels) and age as linear and quadratic covariate. For the morphological traits the fixed effects were: color (three levels), sex (two levels) and year of recording as contemporary group (10 levels). Coat color was fitted in the model to reduce the residual variance in the analyses as there are significant differences between colors as a consequence of a different selection intensity across color coats. Huacaya and Suri variants were independently analyzed. Genetic parameters were estimated using the VCE 6.0 program (Neumaier and Groeneveld, 1998). This software uses REML methodology (Patterson and Thompson, 1971) to carry out variance component estimations.

## Results

Direct and maternal heritability and genetic correlations estimates for preweaning traits are shown in Table 2 for Huacaya and Table 3 for Suri variant. Hereinafter an 'm' has been added to the initials of the traits in which the maternal effect is fitted, in order to refer to this effect. Estimated direct heritabilities for preweaning traits in Huacaya variant were high for WW (0.50) and DG (0.45), moderate for WH (0.36) and very low for BW, BH and SW, while estimated maternal heritabilities for preweaning traits were moderated for BWm (0.25), WWm (0.29) and DGm (0.27) and low for BHm, WHm and SWm. Corresponding direct heritabilities for Suri variant were higher for WH (0.66), and moderate for the rest of traits. Estimated maternal heritabilities were moderated for BWm (0.38), BHm (0.32), WWm (0.39), WHm (0.26) and DGm (0.36) and very low for SWm. The estimated heritabilities for the maternal genetic effect for preweaning traits tended to be moderate, being higher than the direct heritability for birth traits but lower for weaning traits in both variants except for WW in Suri. Both direct and maternal heritabilities of SW resulted much smaller in both variants. The direct genetic correlations within preweaning traits were positive between moderate and high, from 0.43 to 0.99 in Huacaya and from 0.21 to 0.88 in Suri. The direct genetic

Table 2 Heritabilities (in diagonal), between traits direct and maternal genetic correlations (above diagonal) and their corresponding standard errors (in brackets) for preweaning traits in Huacaya variant

| Traits | BW          | BH          | WW          | WH          | DG           | SW           | BWm          | BHm          | WWm          | WHm          | DGm          | SWm          |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| BW     | 0.10 (0.01) |             |             |             |              |              |              |              |              |              |              |              |
| BH     | 0.09 (0.01) | 0.84 (0.04) |             |             |              |              |              |              |              |              |              |              |
| WW     | 0.50 (0.05) | 0.50 (0.05) | 0.53 (0.05) |             |              |              |              |              |              |              |              |              |
| WH     | 0.36 (0.02) | 0.80 (0.02) | 0.77 (0.02) | 0.70 (0.02) |              |              |              |              |              |              |              |              |
| DG     | 0.45 (0.01) | 0.75 (0.03) | 0.99 (0.00) | 0.43 (0.05) | 0.44 (0.06)  |              |              |              |              |              |              |              |
| SW     | 0.04 (0.01) | 0.18 (0.06) | 0.13 (0.07) | 0.16 (0.06) | 0.01 (0.08)  | -0.03 (0.08) |              |              |              |              |              |              |
| BWm    | 0.25 (0.01) | 0.09 (0.04) | 0.06 (0.04) | 0.06 (0.04) | 0.03 (0.03)  | 0.02 (0.04)  | 0.03 (0.03)  |              |              |              |              |              |
| BHm    | 0.32 (0.02) | 0.06 (0.04) | 0.06 (0.04) | 0.06 (0.04) | -0.02 (0.03) | -0.08 (0.04) | -0.03 (0.04) | 0.02 (0.04)  |              |              |              |              |
| WWm    | 0.39 (0.03) | 0.06 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04)  | 0.09 (0.04)  | -0.03 (0.03) | -0.08 (0.04) | -0.08 (0.04) |              |              |              |
| WHm    | 0.26 (0.02) | 0.06 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04)  | 0.09 (0.04)  | -0.03 (0.03) | -0.08 (0.04) | -0.08 (0.04) | -0.17 (0.03) |              |              |
| DGm    | 0.36 (0.02) | 0.06 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04)  | 0.09 (0.04)  | -0.03 (0.03) | -0.08 (0.04) | -0.08 (0.04) | -0.17 (0.03) | -0.06 (0.05) |              |
| SWm    | 0.02 (0.00) | 0.06 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04) | 0.09 (0.04)  | 0.09 (0.04)  | -0.03 (0.03) | -0.08 (0.04) | -0.08 (0.04) | -0.17 (0.03) | -0.06 (0.05) | -0.01 (0.07) |

BW = birth weight; BH = birth withers height; WW = weaning weight; WH = weaning withers height; DG = average daily gain; SW = survival to weaning; BWm, BHm, WWm, WHm, DGm and SWm are the maternal genetic effects for preweaning traits, respectively.

## Genetic parameters for preweaning traits in alpaca

Table 3 Heritabilities (in diagonal), between traits direct and maternal genetic correlations (above diagonal) and their corresponding standard errors (in brackets) for preweaning traits in Suri variant

| Traits | BW          | BH          | WW          | WH          | DG          | SW          | BWm         | BHm         | WWm         | WHm         | DGm         | SWm         |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| BW     | 0.13 (0.01) |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| BH     | 0.78 (0.03) | 0.16 (0.02) |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| WW     | 0.51 (0.05) | 0.41 (0.02) | 0.33 (0.02) |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| WH     | 0.34 (0.04) | 0.64 (0.02) | 0.66 (0.02) | 0.02 (0.05) |             |             |             |             |             |             |             |             |
| DG     |             |             |             | 0.71 (0.05) | 0.21 (0.08) |             |             |             |             |             |             |             |
| SW     |             |             |             | 0.52 (0.03) | 0.30 (0.09) | 0.02 (0.04) |             |             |             |             |             |             |
| BWm    |             |             |             | 0.26 (0.05) | 0.88 (0.02) | 0.02 (0.04) | 0.36 (0.06) |             |             |             |             |             |
| BHm    |             |             |             | 0.20 (0.03) | 0.26 (0.05) | 0.02 (0.04) | 0.24 (0.06) | 0.48 (0.05) |             |             |             |             |
| WWm    |             |             |             |             | 0.20 (0.03) | 0.02 (0.04) | 0.36 (0.06) | 0.29 (0.05) | 0.19 (0.08) |             |             |             |
| WHm    |             |             |             |             |             | 0.15 (0.03) | 0.36 (0.06) | 0.17 (0.04) | 0.18 (0.09) | 0.39 (0.07) |             |             |
| DGm    |             |             |             |             |             |             | 0.32 (0.02) | 0.36 (0.03) | 0.28 (0.08) | 0.03 (0.10) | 0.02 (0.08) |             |
| SWm    |             |             |             |             |             |             |             | 0.32 (0.02) | 0.39 (0.03) | 0.03 (0.10) | 0.03 (0.10) | 0.06 (0.06) |

BW = birth weight; BH = birth withers height; WW = weaning weight; WH = weaning withers height; DG = average daily gain; SW = survival to weaning; BWm, BHm, WWm, WHm, DGm and SWm are the maternal genetic effects for preweaning traits, respectively.

correlations between SW and preweaning traits resulted very low in Huacaya but moderate to high in Suri with traits measured at weaning an negligible with traits measure at birth. Genetic correlations between direct and maternal genetic effects for the Huacaya variant were moderate and negative for WW-WWm, DG-WWm, WW-DGm, DG-DGm and SW-SWm; and low for the correlation between the other pairs of traits, the maternal genetic correlations were moderate to high and positive in the range of 0.34 to 0.97 except for BWm-SWm and BHm-SWm. The genetic correlations between direct and maternal effects for Suri variant were moderate and negative between BW-BWm, BH-BWm, DG-BWm, BW-BHm, BH-BHm, WW-WWm, DG-WWm, BW-WHm, BH-WHm, WW-WHm, WH-WHm, WW-SWm, WH-SWm, DG-SWm, SW-SWm and moderated and positive between WH-BWm, SW-BWm, WH-BHm and SW-BHm; and lower for the rest of pairs of traits, the maternal genetic correlations were moderate to high and positive in the range of 0.22 to 0.96, except for the correlations between BWm-SWm, BHm-SWm, WWm-SWm and DGm-SWm.

The direct and maternal genetic correlations of preweaning and fiber traits are shown in Table 4 for Huacaya and Suri variants. As some of the involved traits are willed to be decreased while others are willed to be increased and the sign of the correlations can be misinterpreted, hereinafter the discussion will be dealt in terms of favorable v. unfavorable instead of positive v. negative during the discussion. The genetic correlations were unfavorable from moderated to high in Huacaya, from 0.22 to 0.51 involving FD, and from -0.23 to -0.52 involving CF; direct genetic correlations of preweaning and SW traits with traits assessing fiber variability were poorer or insignificant in Huacaya, with the highest being that of 0.32 for DG-SD. Less direct genetic correlations were found relevant in Suri variant, between WW-FD, DG-FD, SW-FD, WW-SD, DG-SD, SW-SD, WW-CF, DG-CF and SW-CF, all of them unfavorable. The direct genetic correlations between CV and preweaning traits were very low in both variants. The corresponding maternal genetic correlations were very low in both Huacaya and Suri variants, except for SWm-CF in Huacaya and SWm-FD, SWm-SD and SWm-CF in Suri variant.

Direct and maternal genetic correlations of preweaning and morphological traits are shown in Table 5 for both variants. In general the correlations were low for Huacaya variant in both direct and maternal genetic effects, being that of -0.33 between SWm-head the highest in absolute value. There were some higher genetic correlations in the case of Suri variant in both direct and maternal genetic correlations. The direct and maternal genetic correlations between preweaning and reproductive traits are shown in Table 6 for both variants. Favorable genetic correlations were found from moderated to high in Huacaya variant for direct genetic correlations between WW-age at first calving, WH-age at first calving, DG-age at first calving, and very high and unfavorable between SW-calving interval, while the maternal genetic correlations were unfavorable between all the new studied traits with age at first calving (0.23 to 0.42),



Cruz, Cervantes, Burgos, Morante and Gutiérrez

**Table 4** Direct and maternal genetic correlation and their corresponding standard errors (in brackets) for preweaning and fiber traits in Huacaya and Suri variant

|     | Huacaya variant |              |              |              | Suri variant |              |              |              |
|-----|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|     | FD              | SD           | CF           | CV           | FD           | SD           | CF           | CV           |
| BW  | 0.41 (0.02)     | 0.15 (0.02)  | -0.38 (0.02) | -0.12 (0.02) | -0.01 (0.02) | -0.02 (0.02) | 0.02 (0.03)  | 0.03 (0.02)  |
| BH  | 0.50 (0.02)     | 0.28 (0.02)  | -0.52 (0.02) | -0.01 (0.02) | 0.07 (0.03)  | 0.00 (0.02)  | -0.11 (0.04) | 0.00 (0.03)  |
| WW  | 0.51 (0.02)     | 0.31 (0.01)  | -0.38 (0.02) | 0.02 (0.02)  | 0.51 (0.05)  | 0.35 (0.03)  | -0.42 (0.05) | 0.05 (0.03)  |
| WH  | 0.51 (0.02)     | 0.26 (0.02)  | -0.41 (0.02) | -0.07 (0.02) | 0.19 (0.02)  | 0.19 (0.02)  | -0.18 (0.03) | 0.15 (0.03)  |
| DG  | 0.49 (0.02)     | 0.32 (0.01)  | -0.36 (0.02) | 0.05 (0.02)  | 0.48 (0.05)  | 0.33 (0.02)  | -0.37 (0.06) | 0.03 (0.03)  |
| SW  | 0.22 (0.04)     | 0.06 (0.02)  | -0.23 (0.03) | -0.07 (0.02) | 0.64 (0.02)  | 0.45 (0.04)  | -0.54 (0.03) | 0.04 (0.05)  |
| BWm | -0.06 (0.02)    | -0.01 (0.02) | 0.10 (0.02)  | 0.02 (0.02)  | 0.08 (0.03)  | 0.01 (0.02)  | -0.07 (0.03) | -0.09 (0.02) |
| BHm | -0.13 (0.02)    | -0.06 (0.02) | 0.18 (0.02)  | 0.00 (0.02)  | 0.06 (0.02)  | -0.10 (0.03) | 0.00 (0.03)  | -0.04 (0.03) |
| WWm | -0.20 (0.02)    | -0.13 (0.02) | 0.19 (0.02)  | -0.04 (0.02) | -0.02 (0.02) | -0.03 (0.02) | 0.01 (0.02)  | -0.05 (0.02) |
| WHm | -0.12 (0.02)    | -0.08 (0.02) | 0.17 (0.02)  | -0.04 (0.02) | 0.05 (0.03)  | -0.05 (0.03) | 0.00 (0.03)  | -0.17 (0.03) |
| DGm | -0.18 (0.02)    | -0.12 (0.02) | 0.17 (0.02)  | -0.05 (0.02) | 0.05 (0.03)  | 0.04 (0.02)  | -0.07 (0.03) | 0.01 (0.03)  |
| SWm | -0.15 (0.07)    | 0.01 (0.05)  | 0.20 (0.06)  | 0.08 (0.06)  | -0.59 (0.05) | -0.35 (0.06) | 0.51 (0.05)  | 0.05 (0.06)  |

BW = birth weight; BH = birth withers height; WW = weaning weight; WH = weaning withers height; DG = average daily gain; SW = survival to weaning; FD = fiber diameter; SD = standard deviation; CF = comfort factor; CV = coefficient of variation.

BWm, BHm, WWm, WHm, DGm and SWm are the maternal genetic effects for preweaning traits, respectively.

favorable between WHm–calving interval and SWm–calving interval. In the Suri variant the direct and maternal genetic correlations were from low to high (0.02 to 0.69 in absolute value), being favorable between BW–age at first calving, BH–age at first calving, WW–age at first calving, DG–age at first calving, SWm–age at first calving, BW–calving interval, DG–calving interval and unfavorable for the rest of pairs of traits.

## Discussion

In this paper the main genetic parameters for preweaning traits have been estimated as well as their genetic correlations with other interesting productive, morphological and reproductive traits in order to consider them as candidates to selection criteria in alpacas breeding programs. To our knowledge this is the first time this has been carried out under the Peruvian environmental conditions. There has been a wide range of estimated heritabilities for birth traits in the past. Those found here for BW and BH were much lower than those reported by Wuliji *et al.* (2000). Maternal heritabilities become higher for these birth traits, showing that improvement of these traits should have to be focused selecting mothers. Wuliji *et al.* (2000) compared the heritabilities for BW and FD in alpacas and sheep in New Zealand and they reported estimates of 0.63 and 0.73 for BW, and 0.13 and 0.51 for FD respectively for alpacas and sheep, Wurzinger *et al.* (2005), reported heritabilities estimates of 0.36 and 0.27, respectively, for BW and BH in Bolivian Lamas.

Estimated direct heritabilities were much higher for the traits recorded at weaning, with a somehow lower maternal heritability. Therefore, in the case of selecting to improve weaning traits, efforts should have to be preferably done on the direct genetic effect. These values were similar to those reported by Wuliji *et al.* (2000) in alpacas in New Zealand.

The direct and maternal heritabilities estimated for SW were very low in Huacaya and slightly higher in Suri. The heritability of SW has been estimated at 0.07 in sheep (Zishiri *et al.*, 2013), showing the natural low magnitude of this trait, but comparisons have to take into account that the species and conditions of rising are also very important factors of discrepancies.

Discrepancies between the parameters obtained here and others previously reported in the literature can strongly depend on the fitted model, and particularly on the inclusion or not of the maternal effect in the model and its relationship with the direct genetic effect. This was discussed by Boujenane *et al.* (2015), when estimating parameters in D'man sheep; then, the direct genetic heritability decreased in BW and WW traits when the maternal genetic effect was included in the model (Ligda *et al.*, 2000). Roehe (1999) suggested that maternal genetic effect would have to be fitted for BW in pigs, although the BW direct heritability become smaller than the maternal heritability (Knol *et al.*, 2002), as reported here in alpacas for the same trait.

The objective of this work was to evaluate the possibility of including some of the preweaning traits as additional selections objective in alpacas to improve meat production. In this sense, heights are probably more related to morphological balance than weights (Tables 2 and 3). Given the relevant direct and maternal heritabilities of weaning traits (WW, WH and DG) it would be expected a good response to selection, unlike birth traits (BW and BH) with lower direct heritabilities. The correlations between direct and maternal genetic effects were similar to those reported in sheep by Ligda *et al.* (2000) for preweaning traits, these genetic correlations resulted higher in Suri maybe because of a smaller number of records for this variant.

Therefore, it can be concluded that selection for increasing weights would be successful, and, given the very high direct

Table 5 Direct and maternal genetic correlation and their corresponding standard errors (in brackets) for preweaning and morphological traits in Huacaya and Suri variant

|     | Huacaya variant |              |              |              |              | Suri variant |                |              |              |              |
|-----|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
|     | Density         | Crimp        | Head         | Coverage     | Balance      | Density      | Lock Structure | Head         | Coverage     | Balance      |
| BW  | 0.09 (0.02)     | 0.27 (0.02)  | -0.18 (0.02) | -0.09 (0.01) | 0.09 (0.02)  | 0.08 (0.04)  | 0.13 (0.03)    | 0.47 (0.04)  | 0.40 (0.04)  | 0.60 (0.03)  |
| BH  | -0.01 (0.02)    | -0.03 (0.02) | -0.27 (0.02) | -0.23 (0.02) | -0.02 (0.02) | 0.12 (0.04)  | -0.01 (0.04)   | 0.51 (0.03)  | 0.37 (0.04)  | 0.60 (0.03)  |
| WW  | -0.01 (0.02)    | -0.07 (0.02) | -0.13 (0.02) | -0.14 (0.02) | 0.08 (0.02)  | -0.21 (0.04) | -0.12 (0.03)   | 0.01 (0.03)  | 0.10 (0.03)  | 0.15 (0.03)  |
| WH  | 0.01 (0.02)     | -0.01 (0.02) | -0.17 (0.02) | -0.12 (0.02) | 0.10 (0.02)  | -0.01 (0.03) | -0.15 (0.03)   | -0.04 (0.03) | -0.09 (0.03) | 0.12 (0.03)  |
| DG  | -0.04 (0.02)    | -0.11 (0.02) | -0.13 (0.02) | -0.14 (0.02) | 0.07 (0.02)  | -0.43 (0.04) | -0.12 (0.03)   | -0.07 (0.03) | 0.04 (0.04)  | 0.01 (0.04)  |
| SW  | -0.27 (0.02)    | -0.23 (0.02) | -0.02 (0.03) | -0.11 (0.03) | -0.21 (0.03) | 0.06 (0.03)  | -0.21 (0.04)   | -0.25 (0.05) | 0.13 (0.05)  | -0.20 (0.05) |
| BWm | -0.07 (0.02)    | -0.09 (0.02) | -0.08 (0.02) | -0.08 (0.03) | -0.11 (0.03) | 0.23 (0.02)  | 0.07 (0.03)    | -0.38 (0.03) | -0.31 (0.03) | -0.30 (0.03) |
| BHm | -0.03 (0.02)    | 0.01 (0.03)  | -0.00 (0.03) | -0.03 (0.03) | -0.03 (0.03) | 0.07 (0.03)  | 0.00 (0.03)    | -0.49 (0.02) | -0.37 (0.03) | -0.38 (0.03) |
| WWm | 0.02 (0.02)     | -0.04 (0.02) | -0.08 (0.01) | -0.04 (0.01) | -0.12 (0.02) | 0.35 (0.04)  | 0.22 (0.02)    | -0.12 (0.04) | -0.15 (0.02) | -0.06 (0.06) |
| WHm | -0.01 (0.02)    | -0.06 (0.03) | -0.10 (0.02) | -0.12 (0.02) | -0.15 (0.03) | 0.13 (0.05)  | 0.30 (0.03)    | -0.15 (0.03) | -0.13 (0.03) | -0.14 (0.04) |
| DGm | 0.02 (0.02)     | -0.03 (0.02) | -0.06 (0.02) | -0.02 (0.02) | -0.09 (0.02) | 0.35 (0.05)  | 0.20 (0.02)    | -0.05 (0.05) | -0.12 (0.02) | 0.04 (0.06)  |
| SWm | 0.25 (0.06)     | 0.15 (0.06)  | -0.33 (0.06) | -0.20 (0.06) | -0.15 (0.07) | -0.20 (0.05) | 0.16 (0.08)    | 0.18 (0.06)  | 0.07 (0.07)  | 0.17 (0.06)  |

BW = birth weight; BH = birth withers height; WW = weaning weight; WH = weaning withers height; DG = average daily gain; SW = survival to weaning; BWm, BHm, WWm, WHm, DGm and SWm are the maternal genetic effects for preweaning traits, respectively.

## Genetic parameters for preweaning traits in alpaca

Table 6 Direct and maternal genetic correlation and their corresponding standard errors (in brackets) for preweaning and reproductive traits in Huacaya and Suri variant

|     | Huacaya variant      |                  | Suri variant         |                  |
|-----|----------------------|------------------|----------------------|------------------|
|     | Age at first calving | Calving interval | Age at first calving | Calving interval |
| BW  | -0.14 (0.02)         | 0.13 (0.04)      | -0.30 (0.03)         | -0.21 (0.10)     |
| BH  | -0.08 (0.03)         | 0.08 (0.04)      | -0.61 (0.06)         | 0.03 (0.08)      |
| WW  | -0.42 (0.04)         | 0.06 (0.03)      | -0.27 (0.04)         | 0.02 (0.08)      |
| WH  | -0.30 (0.03)         | 0.10 (0.03)      | -0.14 (0.04)         | 0.55 (0.07)      |
| DG  | -0.45 (0.04)         | 0.02 (0.03)      | -0.25 (0.05)         | -0.24 (0.09)     |
| SW  | -0.23 (0.03)         | 0.74 (0.05)      | 0.22 (0.06)          | 0.36 (0.08)      |
| BWm | 0.31 (0.03)          | -0.06 (0.02)     | 0.54 (0.04)          | 0.41 (0.05)      |
| BHm | 0.23 (0.04)          | -0.05 (0.03)     | 0.69 (0.03)          | 0.31 (0.04)      |
| WWm | 0.42 (0.03)          | -0.07 (0.02)     | 0.52 (0.04)          | 0.31 (0.03)      |
| WHm | 0.33 (0.04)          | -0.25 (0.03)     | 0.45 (0.03)          | -0.07 (0.06)     |
| DGm | 0.42 (0.03)          | -0.02 (0.02)     | 0.41 (0.06)          | 0.35 (0.03)      |
| SWm | 0.25 (0.06)          | -0.43 (0.12)     | -0.44 (0.06)         | -0.14 (0.13)     |

BW = birth weight; BH = birth withers height; WW = weaning weight; WH = weaning withers height; DG = average daily gain; SW = survival to weaning; BWm, BHm, WWm, WHm, DGm and SWm are the maternal genetic effects for preweaning traits, respectively.

genetic correlations between BW and BH, animals would become taller and better looking. As commented before, weaning traits would be preferred as selection criteria in alpaca breeding programs instead of birth traits, but not only because of their higher direct and maternal heritabilities, but also because the weaned animal is the final product of an alpaca breeder selling animals. These weaning traits, WW, WH and DG, resulted with high genetic correlations between them (0.75 to 0.99), what would ensure favorable selection for all of them in both variants. Among these traits, WW would be the trait of election to be used as selection criterion in alpacas, having in addition the highest direct and maternal heritabilities in both variants. Concerning survival, the low direct and maternal heritabilities of SW advises initially ignoring it as a suggested trait to be genetically selected. On the other hand, SW would be indirectly selected in Suri variant given its high favorable direct genetic correlation with weaning traits.

WW has been concluded to be the trait of election to be included in alpacas breeding programs among all those studied here, but selecting to improve it, might have consequences in other economically important productive and reproductive traits due to their genetic relationships. Likewise, current ongoing selection can be carrying consequences in preweaning traits. Main selection objectives in alpacas are related to fiber production (Wuliji *et al.*, 2000; Quispe *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2009 and 2014; Cervantes *et al.*, 2010; Paredes *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2015), and genetic correlations between fiber and preweaning traits (Table 4) suggest that selecting for meat production would bring about animals with greater weight and size, this leading to coarsening the fiber increasing the diameter and loosing comfort factor, particularly in Huacaya,

Cruz, Cervantes, Burgos, Morante and Gutiérrez

but also in a lesser extent in Suri. The influence of the live weight and subjective conformation traits on wool traits had already been reported in sheep (Matebesi *et al.*, 2009a and 2009b). However, the influence on the variability of the fiber seemed to be lower. From the opposite point of view, selecting to decrease the fiber diameter would lead to smaller animals. This would be against the Peruvian programs developed with the objective of improving the fiber production but stating better score for larger animals. In fact regarding height, this program states a score of 10 over 10 to animals with withers height higher than 80 cm, and a score of zero to animals under 70 cm. and, regarding weight, the best score would be for alpacas weighing >25 kg at weaning. The successful selection carried out to decrease fiber diameter in Pacamarca from 2007 to 2015 has led to animals with withers height of 72.5 cm and 72.1 cm and 24.5 kg and 24.2 kg of WW on average for respectively Huacaya and Suri variants, but these animals are widely appreciated in Peru because of their performance in fiber. Moreover, it is expected that size will continue decreasing as a consequence of continuing selecting with the same objective. An alternative would be selecting for both fiber and size traits by using appropriate genetic index (Gutiérrez *et al.*, 2014), but this would reject some elite animals for fiber traits as breeding animals, and genetic progress will slow down for the most economically important traits. Therefore, if double fiber and meat aptitude animals are willed, as the fiber is the origin of the main income for alpaca farmers, a little weight would have to be given to WW in a hypothetical genetic index. On the other hand, it will be noted that this research has been developed in the framework of an experimental farm belonging to the alpaca industry. Thus, from the point of view of the local developing communities, the fleece weight would be a trait of probably higher interest, and this trait would be probably increased with the size of the animals. However fleece weight strongly depends on other environmental factors such as shearing interval resulting in a lower heritability value (0.10) in this population (Gutiérrez *et al.*, 2011).

The second group of selected traits in order of interest are the subjective morphological traits in Pacamarca, fortunately there were very few unfavorable genetic correlations that would become somehow important (Table 5), favorable genetic correlations were found between BW–crimp and BH–coverage and unfavorable ones between BH–head in Huacaya, unfavorable genetic correlations were found between WW–density and slightly higher between DG–density, and higher and favorable genetic correlations between birth traits and head, coverage and balance in Suri. As morphological traits are scored at weaning, the most relevant genetic correlations with morphological traits were expected to be found for the traits recorded at weaning, but this was not the case. Gutiérrez *et al.* (2014), pointed out that density and crimp or lock structure were the most relevant morphological traits and fortunately these are not particularly affected by the body size of the animals, with the exception of DG in Suri. Another remarkable result in Suri was that birth traits were importantly favorable correlated

with the three traits directly related to the appearance of the animal, similar in genetic correlations between some live weight traits and subjective conformation traits were also reported in Tygerhoeck Merino flock by Matebesi *et al.* (2009b). Finally, although correlations were low, it could be considered worrying that genetic correlations between SW and morphological traits were most of them unfavorable, given that selecting to improve morphology would bring about lower survival.

Cruz *et al.* (2015) have recently established the genetic parameters for several reproductive traits as well as their genetic correlations with fiber and morphological traits, and they concluded the relevance of age at first calving and calving interval because of the magnitude of their heritabilities and their genetic correlations with productive traits. Genetic correlations between preweaning and reproductive traits were more relevant in Suri, with the highest genetic correlations in absolute value found in birth traits, unlike in Huacaya in which the most relevant genetic correlations were found for weaning traits (Table 6). Again, fortunately most of the estimated genetic correlations between preweaning and reproductive traits were found favorable and many of them of moderate magnitude. A group of correlations worth mentioning are those involving SW, particularly that with calving interval in Huacaya variant, it reflects a genetic selection that will be naturally produced against this reproductive trait because those females genetically trending to have a higher calving interval will genetically trend to better survive. Fortunately this selection will have a low success given the weak magnitude of the SW heritability. It has to be noted that estimated genetic correlations between preweaning traits and age at first calving are conditioned by reproductive management, because 2 years old females are admitted to breeding only if the animal looks big enough. Therefore, larger animals are bred first within the reproductive season, breeding smaller animals only at the end of the season.

When analyzing maternal genetic correlations of the traits studied here with other traits, they were found to be with the opposed sign. In all that has been commented so far, the genetic correlations that were favorable regarding direct effects, are detrimental concerning maternal effects, becoming important which of those correlations have greater magnitude in absolute value. Genetic correlations between maternal effects of preweaning and survival traits with fiber traits were in general small, with the exception of SWm in Suri variant. Instead, these maternal genetic correlations were higher than direct ones when affecting morphological traits, especially for the lock structure in Suri at weaning, and only slightly unfavorable with traits recorded at birth. When addressing these maternal genetic correlations concerning reproductive traits, maternal genetic effects for reproductive traits were similar to the direct genetic correlations but unfavorable with age at first calving in both variants counterbalancing among them, not being so important with calving interval.

Concluding that selecting to increase WW would be advised mainly because weaned animals can be considered



## Genetic parameters for preweaning traits in alpaca

as a product of alpaca breeders, other weaning traits such as WH or DG would be indirectly selected. The selection would be based on the direct genetic effect for WW and not on its maternal genetic effect. Genetic correlations between preweaning and other traits showed that animals selected for fiber production would not be suitable to compete in livestock fairs that are established concerning morphological traits. Those fiber selected animals would not be either appropriate for meat production. It could be possible to establish different select indexes for males and females according to respectively growth and reproductive traits. However, as an offspring receives half of its genes from both father and mother, the weight of the different traits would be dependent on the different selection intensities defined by sexes, and not according to a willed interest of breeders. Combining different objectives in a genetic index would allow considering simultaneously all the traits in the selection process, but it would bring about a reduction in the genetic response of each of them. Taking clear decisions about the willed production aptitudes of the animals would be essential from the beginning. Also considering reproductive traits in the index would be advised, even with lower weight as the maternal genetic component partially compensates the negative impact of the direct genetic effect on them. Strictly speaking a multitrait breeding objective function could be developed including all traits of economic importance for a particular production system. Selection indices could then be constructed with data recorded so as to maximize the correlation between the breeding objective and the index. Such index would also maximize economic gain. Unfortunately, as economic weights are controversial to be addressed, and they depend on the stratum involved, the economic impact of the culling resulting from the Peruvian governmental policies considering minimum sizes of animals is also controversial. As the best animals according to fiber criteria, appeared of lower weight and size, reconsidering Peruvian governmental policies would be advised.

## References

- Boujenane I, Chikhi A, Ibnelbachyr M and Mouh FZ 2015. Estimation of genetic parameters and maternal effects for body weight at different ages in D'man sheep. *Small Ruminant Research* 130, 27–35.
- Cervantes I, Pérez-Cabal MA, Morante R, Burgos A, Salgado C, Nieto B, Goyache F and Gutiérrez JP 2010. Genetic parameters and relationship between fibre and type traits in two breeds of Peruvian alpacas. *Small Ruminant Research* 88, 6–11.
- Cristofanelli S, Antonini M, Torres D, Polidori P and Renieri C 2005. Carcass characteristics of Peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*) reared in the andean highlands. *Small Ruminant Research* 58, 219–222.
- Cruz A, Cervantes I, Burgos A, Morante R and Gutiérrez JP 2015. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in alpacas. *Animal Reproduction Science* 163, 48–55.
- Gutiérrez JP, Cervantes I, Pérez-Cabal MA, Burgos A and Morante R 2014. Weighting fibre and morphological traits in a genetic index for an alpaca breeding program. *Animal* 8, 360–369.
- Gutiérrez JP, Goyache F, Burgos A and Cervantes I 2009. Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livestock Science* 123, 193–197.
- Gutiérrez JP, Goyache F, Fernández I, Álvarez I and Royo LJ 2007. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Journal of Animal Science* 85, 69–75.
- Gutiérrez JP, Varona L, Pun A, Morante R, Burgos A, Cervantes I and Pérez-Cabal MA 2011. Genetic parameters for growth of fiber diameter in alpacas. *Journal of Animal Science* 89, 2310–2315.
- Knol EF, Leenhouwers JJ and Van der Lende T 2002. Genetics aspect of piglet survival. *Livestock Production Science* 78, 47–55.
- Ligda Ch, Gabriilidis G, Papadopoulos Th and Georgoudis A 2000. Investigation of direct and maternal genetic effects on birth and weaning weight of Chios lambs. *Livestock Production Science* 67, 75–80.
- Mamani-Linares LW and Gallo C 2013. Effects of supplementary feeding on carcass and meat quality traits of young llamas (*Lama glama*). *Small Ruminant Research* 114, 233–239.
- Matebesi PA, van Wyk JB and Cloete SWP 2009a. Genetic parameters for subjectively assessed and conformation traits in the Tygerhoek Merino flock. *South African Journal of Animal Sciences* 39, 179–187.
- Matebesi PA, van Wyk JB and Cloete SWP 2009b. Relationships of subjectively assessed wool and conformation traits with objectively measured wool and live weight traits in the Tygerhoek Merino flock. *South African Journal of Animal Sciences* 39, 188–196.
- Neumaier A and Groeneveld E 1998. Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genetics Selection Evolution* 30, 3–26.
- Paredes MM, Membriño A, Gutiérrez JP, Cervantes I, Azor PJ, Morante R, Alonso-Moraga A, Molina A and Muñoz-Serrano A 2014. Association of microsatellite markers with fiber diameter trait in Peruvian alpacas (*Vicugna pacos*). *Livestock Science* 161, 6–16.
- Patterson HD and Thompson R 1971. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika* 58, 545–554.
- Presciuttini S, Valbonesi A, Apaza N, Antonini M, Huanca T and Renieri C 2010. Fleece variation in alpaca (*Vicugna pacos*): a two-locus model for the Suri/Huacaya phenotype. *BMC Genetics* 11, 70–77.
- Quispe EC, Rodríguez TC, Iniguez LR and Mueller JP 2009. Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetics Research* 45, 1–14.
- Roche R 1999. Genetic determination of individual birth weight and its association with sow productivity traits using bayesian analyses. *Journal of Animal Science* 77, 330–343.
- Smith MA, Bush RD, Thomson PC and Hopkins DL 2015. Carcass traits and saleable meat yield of alpacas (*Vicugna pacos*) in Australia. *Meat Science* 107, 1–11.
- Wheeler J 1993. South American camelids: past, present and future. In *Proceedings 1st European symposium on South American camelids*, 30 September to 1 October, Bonn, Germany, pp. 13–28.
- Wuliji T, Davis GH, Dodds KG, Turner PR, Andrews RN and Bruce GD 2000. Production performance, repeatability and heritability estimates for live weight, fleece weight and fiber characteristics of alpacas in New Zealand. *Small Ruminant Research* 37, 189–201.
- Wurzinger M, Delgado J, Nurnberg M, Zarate AV, Stemmer A, Ugarte G and Solkner J 2005. Growth curves and genetic parameters for growth traits in Bolivian llamas. *Livestock Production Science* 95, 73–81.
- Zishiri OT, Cloete SWP, Olivier JJ and Dzama K 2013. Genetic parameters for growth, reproduction and fitness traits in the South African Dorper sheep breed. *Small Ruminant Research* 112, 39–48.



## **V. INFLUENCIA DEL EFECTO DE LA GESTACIÓN Y LACTACIÓN SOBRE LOS CARACTERES DE FIBRA DE ALPACA**



## 5.1 Resumen

Se estudió la influencia del estado fisiológico de gestación y lactación sobre los caracteres de calidad de fibra en alpacas en la finca experimental Pacomarca en los Andes peruanos. Se utilizó la información registrada en dicho rebaño reuniendo 8.648 datos de 1.541 hembras y 366 machos del ecotipo *Huacaya* y 2.410 datos de 374 hembras y 132 machos de ecotipo *Suri*, obtenidos de 2001 a 2015 pertenecientes a animales de tres años de edad o más. El modelo lineal mixto para los caracteres diámetro de fibra, desviación estándar y coeficiente de variación se ajustó en función del estado fisiológico en cinco categorías (lactantes, gestantes, lactantes y gestantes, hembras vacías y machos) conjuntamente con otros efectos como el año de registro, la edad de 3 a 9 o más años de edad y el color de la capa. Los ecotipos de *Huacaya* y *Suri* se analizaron independientemente. Todos los efectos incluidos en el modelo aparecieron como altamente significativos, siendo las diferencias menos significativas en *Suri* debido al menor número de registros. El estado fisiológico de la lactación se muestra como un efecto importante que tiene influencia sobre el diámetro de la fibra, explicando una diferencia de 1,2  $\mu\text{m}$  en vacías y 1,0  $\mu\text{m}$  de diferencia en gestantes, mientras que la gestación aparece con una influencia mucho menos relevante. Otros factores influyeron de forma relevante en el diámetro de la fibra. Así, la edad tuvo un efecto muy importante que incrementó 3,71  $\mu\text{m}$  de 3 a 9 años de edad en *Huacaya* y 4,52  $\mu\text{m}$  en *Suri*. Asimismo se encontró una diferencia de 3,09  $\mu\text{m}$  en *Huacaya* y 5,93  $\mu\text{m}$  en *Suri* entre las alpacas de color oscuro y de color blanco. Estos resultados recomiendan modificar el modelo de evaluación genética ajustando el estado fisiológico de las hembras para aumentar la precisión de los valores genéticos utilizados para seleccionar animales en el esquema de mejora genética del centro.



**5.2 Effect of the gestation and lactation on fiber diameter and its variability in Peruvian alpacas. 2017. *Livestock Science* 198, 31-36.**



Contents lists available at ScienceDirect

Livestock Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/livsci](http://www.elsevier.com/locate/livsci)

## Effect of the gestation and lactation on fiber diameter and its variability in Peruvian alpacas



Alan Cruz<sup>a</sup>, Renzo Morante<sup>a</sup>, Isabel Cervantes<sup>b</sup>, Alonso Burgos<sup>a</sup>, Juan Pablo Gutiérrez<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> *Fundo Pacamarca – Inca Tops S.A. Avda. Miguel Forga 348, Arequipa, Perú*

<sup>b</sup> *Departamento de Producción Animal, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n E-28040, Madrid, Spain*

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Alpaca  
Fiber  
Gestation  
Lactation  
Physiological effect

### ABSTRACT

A study was conducted to know the influence of the pregnancy and lactation states on the fiber performance in alpacas at Pacamarca experimental farm in the Peruvian highlands. Records obtained from the regular performance recording software of the farm were used, gathering 8648 records of 1541 females and 366 males of Huacaya ecotype, and 2410 records of 374 females and 132 males of Suri ecotype, registered from 2001 to 2015 and belonging to animals of three or more years. A mixed linear model for fiber diameter, standard deviation and coefficient of variation fitted the physiological state with five categories (milking, pregnant, milking and pregnant, open females and males) as an effect jointly with others such as year of recording, age from 3 to 9 or more years old and coat color. Huacaya and Suri ecotypes were independently analyzed. All the effects included in the model appeared as highly significant, being the paired differences less significant in Suri because of the lower number of records. Lactation physiological state appeared as an important effect affecting fiber performance, explaining a difference of 1.2 and 1.0  $\mu\text{m}$  of differences in respectively Huacaya and Suri pregnant females, while pregnancy appeared with a much less relevant influence. Other factors greatly influenced the fiber diameter. Thus, age had a very important effect increasing 3.71  $\mu\text{m}$  from 3 to 9 years of age in huacaya and 4.52  $\mu\text{m}$  in Suri. A difference of 3.09  $\mu\text{m}$  in huacaya and 5.93  $\mu\text{m}$  in Suri was found between dark and white coat colored alpacas. These results recommend modifying the genetic evaluation model by fitting the physiological state of females to increase the accuracy of the breeding values used to select animals in the breeding scheme of the farm.

### 1. Introduction

International market of natural fibers based on natural fiber is highly competitive for the textile industry. Pacamarca experimental farm was created to face this, developing a successful breeding program while addressing profuse research (Gutiérrez et al., 2009, 2011, 2014, Cervantes et al., 2010, Pérez-Cabal et al., 2010, Paredes et al., 2014, Cruz et al., 2015, 2016). The main objective selection in alpacas is the reduction in fiber diameter to produce fine fiber. Genetic improvement should also be encompassed with improvement in other areas such as nutrition, health, reproduction and management as part of an integrated business management strategy (McGregor et al., 2013a, 2013b, 2016). The estimated heritabilities for fiber traits in alpacas have been moderate to high, so the responses to artificial selection have been relevant for these traits (Gutiérrez et al., 2009, 2014; Cruz et al., 2015). Efficient selection has to be based in top-rated animals according to reliable breeding values for the desired traits, and the reliabilities depend on the amount of information provided by both each individual

and its parents. In addition the fitted model for evaluation of the animals would have to include all effects that have influence on the traits (Gutiérrez, 2010). The current statistical model used for genetic evaluation in Pacamarca experimental farm includes, among other effects, the sex, although this has not ever seemed to be highly relevant in the fiber diameter and its variability. However, across their life, the females undergo significant changes in weight, body condition, feeding habits and feed requirements according to pregnancy and lactation periods.

The female alpaca starts reproduction at two years of age, reaching three years usually with a younger animal on its care. From this age onwards a female can be clearly identified under periods of gestation and lactation. A female becoming pregnant has usually a gestation of about 342 days of length, not coming back open until the next breeding season. After calving, the baby will suckle about five or six months (Cruz et al., 2015), representing an overlapping of gestation and lactation in which the female mobilizes the nutrient reserves according to their physiological needs, which may affect fiber performance (low

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [alanacruz@outlook.com](mailto:alanacruz@outlook.com) (A. Cruz), [gutiga@vet.ucm.es](mailto:gutiga@vet.ucm.es) (J.P. Gutiérrez).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.006>

Received 29 November 2016; Received in revised form 30 January 2017; Accepted 3 February 2017  
1871-1413/ © 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

**Table 1**  
Distribution of fiber records according to the status of the animal in both Huacaya and Suri ecotypes.

| Years of age | Huacaya ecotype |             |             |             |            |             | Suri ecotype |            |            |            |            |             |
|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
|              | O               | M           | P           | PM          | S          | Total       | O            | M          | P          | PM         | S          | Total       |
| 3            | 5               | 4           | 15          | 7           | 28         | 59          | 2            | 2          | 3          | 1          | 8          | 16          |
| 4            | 237             | 134         | 217         | 455         | 341        | 1384        | 47           | 35         | 69         | 125        | 96         | 372         |
| 5            | 316             | 184         | 152         | 419         | 164        | 1235        | 32           | 52         | 49         | 126        | 57         | 316         |
| 6            | 228             | 176         | 160         | 399         | 116        | 1079        | 35           | 46         | 61         | 136        | 45         | 323         |
| 7            | 149             | 144         | 195         | 370         | 82         | 940         | 32           | 44         | 55         | 129        | 34         | 294         |
| 8            | 119             | 118         | 179         | 375         | 53         | 844         | 31           | 28         | 37         | 125        | 20         | 241         |
| 9 or more    | 405             | 604         | 626         | 1342        | 130        | 3107        | 133          | 154        | 166        | 335        | 60         | 848         |
| <b>Total</b> | <b>1459</b>     | <b>1364</b> | <b>1544</b> | <b>3367</b> | <b>914</b> | <b>8648</b> | <b>312</b>   | <b>361</b> | <b>440</b> | <b>977</b> | <b>320</b> | <b>2410</b> |

(O): open; (P): pregnant; (M): milking; (PM): pregnant and milking; (S): sires.

fiber diameter and variability). Then, two very different stages can be defined within pregnancy period. The starting half of the gestation period with increase in the levels of anabolic hormones, and a consequent increase of blood volume, increase in the cardiac output in turn, also an increase in the nutrient reserves, fat and liver glycogen and appetite, and also increasing the food intake. The rest of the pregnancy carries an increase in catabolic hormones, leading to the mobilization of fat reserves and nutrients, decreasing the hepatic glycogen and increasing the metabolism, even in the absence of food intake. Similarly to pregnancy, the energy expenditure is sensitively increased during lactation, resulting in mobilization of energetic reserves to turn them into components of milk. Liesegang et al. (2006) reported mobilizations of the total bone mineral content occur at the end of gestation and beginnings of lactation in goats and sheep.

Metabolic adaptation has been found important for fiber production during pregnancy in sheep when raised in intensive system (Duchlmeier et al., 2011). Likewise the nutrition influences the milk production and the formation of fetal exoskeleton during the gestation, increasing metabolic mobilization of some components, especially the calcium (Liesegang et al., 2007). Also animals under gestation and lactation are more susceptible to diseases, especially parasites that were detrimental in milk production and production of fiber (González-Garduño et al., 2014). Nutritional effects on alpacas and merino sheep have also been reported on fiber yields (McGregor, 2002) and goats (McGregor et al., 2013a, 2013b).

Routine annual estimation of genetic parameters and breeding values prediction are currently being carried out independently for the two defined ecotypes in Pacamarca. The model used to perform such analyses includes the month-year of sampling, the coat color with three levels (white, light fawn and dark) and the age (linear and quadratic covariate) as effects (Cervantes et al., 2010; Cruz et al., 2015, 2016; Gutiérrez et al., 2009, 2011). However, physiological status of the female concerning gestation and lactation can importantly influence on the fiber features, and could be interesting to take part of the model. Quantifying gestation and lactation influence seems to be needed. Thus, this research aimed to study the effect of gestation and lactation on fiber diameter, standard deviations and coefficient of variation of the fiber diameter to evaluate their inclusion in the models used for the prediction of breeding values. As a secondary objective, influence of color, year and age on fiber diameter and its variability was also addressed.

## 2. Material and methods

The data were collected between 2001 and 2015, in the Pacamarca experimental farm, and correspond to 1907 (1541 females and 366 males) Huacaya ecotype individuals and 506 (374 females and 132 males) Suri ecotype animals, three or more years old. Alpaca females are suitable for reproduction at two years of age, but they only can become lactating or sufficiently advanced pregnant from three years

old. Therefore, animals younger than three years were ignored in these analyses because they are much finer and has no chance of having pregnancies and milking stages. The mean age was 6.9 years for both Huacaya and Suri ecotypes. Animals with records of fiber performance were classified according to the state of the animal. For the Huacaya ecotype the number of records owned by open females not milking an offspring (O) was 1459, there were 1364 records for open females milking an offspring (M), 1544 records for pregnant females no milking an offspring (P), 3367 pregnant females simultaneously milking an offspring (PM), and 914 males (S). The respective records for the Suri ecotype were 312, 361, 440, 977 and 320. This classification was considered as the target group for this research in order to assess the influence of the physiological state on fiber performance. As a by-product of the analyses, significance was also studied concerning other highly relevant effects analyzed simultaneously, such as year, color and age effects. Description of the data structure according to the main grouping and the age in years is shown in Table 1. Concerning performance traits, the fiber samples were shorn from the middle side of the body. These samples were washed and after minicored and 4000 snippets of 2 mm using an Optical Fiber Diameter Analyzer 100 in the laboratory of Inca Tops S.A. (IWT0-47-95, 1995). The analyzed traits were the Fiber Diameter (FD), the Standard Deviation (SD), both FD and SD measured in  $\mu\text{m}$  and Coefficient of Variation (CV) expressed in percentage (%).

The three traits were analyzed under a linear model fitting the physiological state group as an effect, but also the age in years from three to nine or more, the coat color defined in white, cream and dark groups, and the year of recording from 2001 to 2015 were fitted to take into account the same effects fitted in the genetic evaluation routine process (Cervantes et al., 2010; Gutiérrez et al., 2014). This enabled establishing conclusions about the need of including milking and pregnancy states in that routine genetic evaluation process. Depending on the number of records, some first order interactions between effects were estimable and also fitted. These interactions were: physiological state by age, physiological state by coat color and age by coat color in Huacaya. Lactation and gestation influence did not appear as significant in the Suri ecotype when the interactions were fitted, probably due to a low number of records for such a complex model. Because of that, they were not fitted in the Suri ecotype. Conclusions have to be taken with caution in this ecotype. Finally, also the individual was fitted in the model as a random effect given that there were repeated measures for several animals. Analyses were carried out using the PROC MIXED of SAS software (1999). Differences between the main five groups were estimated also using the same procedure, establishing significant differences between groups based on the least significant difference (LSD) methodology.

## 3. Results

Table 2 shows the significance of the different effects fitted in the



**Table 2**  
Significance of the effects influencing fiber performance in Huacaya and Suri ecotypes.

| Effect              | Degrees of freedom | Huacaya |      |      | Suri |      |      |
|---------------------|--------------------|---------|------|------|------|------|------|
|                     |                    | FD      | SD   | CV   | FD   | SD   | CV   |
| Physiological state | 4                  | ***     | ***  | ***  | ***  | ***  | NS   |
| Age                 | 6                  | ***     | ***  | ***  | ***  | ***  | NS   |
| Color               | 2                  | ***     | ***  | ***  | ***  | ***  | NS   |
| Year                | 14                 | ***     | ***  | ***  | ***  | ***  | ***  |
| P. State*Age        | 24                 | ***     | ***  | ***  | —    | —    | —    |
| P. State*Color      | 8                  | *       | NS   | ***  | —    | —    | —    |
| Age*Color           | 12                 | NS      | ***  | ***  | —    | —    | —    |
| Repeatability       | —                  | 0.58    | 0.61 | 0.46 | 0.66 | 0.64 | 0.45 |

(FD): fiber diameter; (SD): standard deviation; (CV): coefficient of variation; (NS): non-significant; (\*):  $p < 0.05$ ; (\*\*):  $p < 0.001$ .

model on fiber traits, as well as the estimated repeatabilities of the traits for both Huacaya and Suri ecotypes. All main effects were highly significant except for CV in Suri ecotype in which only the year effect become significant. Physiological state by age interaction was always significant, but interactions involving coat color were not always significant. Repeatabilities were between 0.45 and 0.66 being particularly lower in CV.

Table 3 shows the least squared means for the five physiological state groups in both ecotypes and the significant differences found between the groups. These significant differences were always greater for Huacaya than for Suri ecotype, because of the fourfold number of records in the first one. For the Huacaya ecotype, the females under milking stage (PM and M) were significantly the finest ( $24.46 \pm 0.19 \mu\text{m}$  and  $24.51 \pm 0.24 \mu\text{m}$  respectively), with the sires being the coarsest ( $26.58 \pm 0.28 \mu\text{m}$ ), and having the open ( $25.16 \pm 0.25$ ) and pregnant females (with  $25.67 \pm 0.19$ ) an intermediate fineness without significant difference between them. For the Suri ecotype PM females, with  $27.15 \pm 0.30 \mu\text{m}$  and M females, with  $27.45 \pm 0.31 \mu\text{m}$  were also found to be significantly different from open females ( $28.08 \pm 0.31 \mu\text{m}$ ), pregnant no milking females ( $28.17 \pm 0.31 \mu\text{m}$ ) and sires ( $27.74 \pm 0.38 \mu\text{m}$ ). Differences in fiber performance were found between ecotypes across all the defined groups, having on average 13% better performance the Huacaya according to textile criteria addressed by its lower diameter and variability.

A similar pattern was found for the other fiber related traits. Regarding the Huacaya ecotype, some of the physiological state groups were statistically suggested to be the same, being this regrouping very similar for FD as commented below. The lowest standard deviation was found for pregnant milking females ( $5.62 \pm 0.06 \mu\text{m}$ ), together with M ( $5.75 \pm 0.07 \mu\text{m}$ ) and O ( $5.75 \pm 0.08 \mu\text{m}$ ) slightly significantly higher in P females ( $5.99 \pm 0.06 \mu\text{m}$ ), and being relevantly and also significantly different from the sires that appeared as the most variables ( $6.34 \pm$

**Table 3**  
Number of records (n) and least squared means  $\pm$  standard deviations of fiber traits in Huacaya and Suri ecotypes according to their physiological state. Groups with different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

| Ecotype | State | N    | FD ( $\mu\text{m}$ )  | SD ( $\mu\text{m}$ ) | CV (%)             |
|---------|-------|------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Huacaya | PM    | 3367 | $24.46 \pm 0.19^a$    | $5.62 \pm 0.06^a$    | $23.18 \pm 0.20^a$ |
|         | M     | 1364 | $24.51 \pm 0.24^a$    | $5.75 \pm 0.07^a$    | $23.22 \pm 0.26^a$ |
|         | O     | 1459 | $25.16 \pm 0.25^b$    | $5.75 \pm 0.08^a$    | $22.91 \pm 0.26^a$ |
|         | P     | 1544 | $25.67 \pm 0.19^b$    | $5.99 \pm 0.06^b$    | $23.21 \pm 0.19^a$ |
|         | S     | 914  | $26.58 \pm 0.28^c$    | $6.34 \pm 0.09^c$    | $24.41 \pm 0.27^b$ |
| Suri    | PM    | 977  | $27.15 \pm 0.30^b$    | $6.79 \pm 0.11^a$    | $25.04 \pm 0.30^b$ |
|         | M     | 361  | $27.45 \pm 0.31^a$    | $6.88 \pm 0.11^a$    | $25.35 \pm 0.32^a$ |
|         | O     | 440  | $28.08 \pm 0.31^c$    | $7.03 \pm 0.11^{bc}$ | $25.15 \pm 0.32^a$ |
|         | P     | 312  | $28.17 \pm 0.31^{cd}$ | $7.08 \pm 0.11^{bc}$ | $25.47 \pm 0.31^a$ |
|         | S     | 320  | $27.74 \pm 0.38^b$    | $6.86 \pm 0.13^{ac}$ | $25.13 \pm 0.37^a$ |

(FD): fiber diameter; (SD): standard deviation; (CV): coefficient of variation; (O): open; (P): pregnant; (M): milking; (PM): pregnant and milking; (S): sires.

**Table 4**

Number of records (n) and least squared means  $\pm$  standard deviations of fiber traits in Huacaya and Suri ecotypes according to their age group. Groups with different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

| Ecotype | Age | n    | FD ( $\mu\text{m}$ )  | SD ( $\mu\text{m}$ ) | CV (%)                |
|---------|-----|------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Huacaya | 3   | 59   | $23.05 \pm 0.60^a$    | $5.64 \pm 0.18^a$    | $22.70 \pm 0.66^a$    |
|         | 4   | 1384 | $24.53 \pm 0.14^b$    | $5.77 \pm 0.04^a$    | $23.63 \pm 0.14^a$    |
|         | 5   | 1235 | $24.74 \pm 0.14^b$    | $5.72 \pm 0.05^a$    | $23.31 \pm 0.15^{ab}$ |
|         | 6   | 1079 | $25.72 \pm 0.16^c$    | $5.93 \pm 0.05^b$    | $23.34 \pm 0.16^{ab}$ |
|         | 7   | 940  | $25.79 \pm 0.17^c$    | $5.90 \pm 0.05^b$    | $23.32 \pm 0.18^{ab}$ |
|         | 8   | 844  | $26.34 \pm 0.19^d$    | $6.07 \pm 0.06^c$    | $23.44 \pm 0.19^{ab}$ |
|         | 9   | 3107 | $26.76 \pm 0.16^e$    | $6.20 \pm 0.05^d$    | $23.97 \pm 0.16^{ac}$ |
|         | 3   | 16   | $25.03 \pm 0.83^a$    | $6.40 \pm 0.30^{ab}$ | $24.55 \pm 0.95^a$    |
|         | 4   | 372  | $26.57 \pm 0.26^{ab}$ | $6.70 \pm 0.09^a$    | $25.13 \pm 0.27^a$    |
| Suri    | 5   | 316  | $27.18 \pm 0.27^b$    | $6.87 \pm 0.10^b$    | $25.49 \pm 0.28^b$    |
|         | 6   | 323  | $28.26 \pm 0.27^c$    | $7.03 \pm 0.10^c$    | $25.39 \pm 0.28^c$    |
|         | 7   | 294  | $28.46 \pm 0.28^{cd}$ | $7.08 \pm 0.10^c$    | $25.48 \pm 0.30^c$    |
|         | 8   | 241  | $28.98 \pm 0.30^d$    | $7.14 \pm 0.11^{cd}$ | $25.28 \pm 0.31^d$    |
|         | 9   | 848  | $29.55 \pm 0.30^e$    | $7.26 \pm 0.11^d$    | $25.26 \pm 0.30^e$    |

(FD): fiber diameter; (SD): standard deviation; (CV): coefficient of variation.

0.09  $\mu\text{m}$ ). Concerning Suri ecotype, females milking an offspring were the less variable (PM  $6.79 \pm 0.11 \mu\text{m}$  and M  $6.88 \pm 0.11 \mu\text{m}$ ), but the most variable group was P for this ecotype ( $7.08 \pm 0.11 \mu\text{m}$ ), but not significantly different from O ( $7.03 \pm 0.11 \mu\text{m}$ ) and the sires ( $6.86 \pm 0.13 \mu\text{m}$ ).

Results for coefficient of variation showed less significant differences given that this is a statistical parameter defined as the ratio between SD and FD. Nevertheless, there was also the similar rough trend, being the females under milking period the less variable, and being the males the most. For this trait in Huacaya the less variable animals were the O females ( $22.91 \pm 0.26\%$ ) and the most variable the sires ( $24.41 \pm 0.27$ ), being the other groups intermediate. In the case of the Suri there were no differences between groups, but PM ( $25.04 \pm 0.30\%$ ), S ( $25.13 \pm 0.37$ ) and O ( $25.15 \pm 0.32$ ) were the less variable groups while P ( $25.47 \pm 0.31$ ) and M ( $25.35 \pm 0.32$ ) were the most variable according to CV.

Significant differences between levels were analyzed as a secondary objective of this study and it is worth slightly mentioning about them. The least squared means, standard deviation and significant differences between levels of age effect on fiber traits are shown in Table 4, noting that FD, SD and CV tended to increase with the age of the animals, worsening the textile quality with the increase in the age. The interaction between physiological state and the age was significant in the Huacaya ecotype (Table 2), but this interaction was basically between pregnant and non-pregnant within both milking and non-milking females. All the groups roughly increased across years of age with those some minor interactions that could be attributed to random due to low number of animals in some categories. Instead the greater number of records for Huacaya ecotype allows finding clear differences between milking (M and PM) and not milking across all groups of age. Sires were significantly coarser than all female groups across ages, except for the youngest (three and four years old) in which they were not different from open females. This was probably due to differences in liveweight as reported by McGregor et al. (2016) in merino sheep, but liveweight has not been accounted in the model. Liveweight was assumed not be dependent on differences in feeding as it was completely uniform in the herd, being the animals fed *ad libitum* with a constant supplementation of forage. Of course, there must exist differences in liveweight related to age of the animals, but it was taken into account by fitting the age group. Conversely, fitting liveweight in the model would have removed an important part of the genetic component as a relevant genetic correlation between size and fineness has been reported (Cruz et al., 2016).

Table 5 shows the least squared means and standard deviation of fiber traits within year of recording, and the significant differences

**Table 5**

Number of records (n) and least squared means  $\pm$  standard deviations of fiber traits in Huacaya and Suri ecotypes by year of recording. Groups with different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

| Ecotype | Year | n   | FD ( $\mu\text{m}$ )           | SD ( $\mu\text{m}$ )          | CV (%)                         |
|---------|------|-----|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Huacaya | 2001 | 34  | 21.13 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>  | 4.56 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>  | 19.34 $\pm$ 0.50 <sup>a</sup>  |
|         | 2002 | 298 | 22.85 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>  | 5.48 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>  | 23.76 $\pm$ 0.24 <sup>f</sup>  |
|         | 2003 | 478 | 23.25 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>  | 5.57 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>  | 23.71 $\pm$ 0.21 <sup>f</sup>  |
|         | 2004 | 67  | 24.06 $\pm$ 0.33 <sup>d</sup>  | 5.53 $\pm$ 0.10 <sup>bc</sup> | 23.08 $\pm$ 0.36 <sup>cd</sup> |
|         | 2005 | 771 | 24.75 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>  | 5.70 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>  | 22.82 $\pm$ 0.17 <sup>bc</sup> |
|         | 2006 | 632 | 28.01 $\pm$ 0.17 <sup>i</sup>  | 6.45 $\pm$ 0.05 <sup>j</sup>  | 22.92 $\pm$ 0.17 <sup>cd</sup> |
|         | 2007 | 482 | 28.59 $\pm$ 0.18 <sup>j</sup>  | 6.49 $\pm$ 0.05 <sup>j</sup>  | 22.59 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>  |
|         | 2008 | 631 | 25.45 $\pm$ 0.17 <sup>f</sup>  | 5.94 $\pm$ 0.05 <sup>d</sup>  | 25.26 $\pm$ 0.17 <sup>g</sup>  |
|         | 2009 | 726 | 26.77 $\pm$ 0.16 <sup>h</sup>  | 6.25 $\pm$ 0.05 <sup>i</sup>  | 26.91 $\pm$ 0.17 <sup>h</sup>  |
|         | 2010 | 750 | 26.06 $\pm$ 0.16 <sup>g</sup>  | 6.06 $\pm$ 0.05 <sup>ci</sup> | 23.15 $\pm$ 0.17 <sup>de</sup> |
|         | 2011 | 846 | 26.02 $\pm$ 0.16 <sup>g</sup>  | 6.04 $\pm$ 0.05 <sup>de</sup> | 23.11 $\pm$ 0.16 <sup>de</sup> |
|         | 2012 | 872 | 25.48 $\pm$ 0.16 <sup>f</sup>  | 6.11 $\pm$ 0.05 <sup>ef</sup> | 23.83 $\pm$ 0.16 <sup>f</sup>  |
|         | 2013 | 692 | 25.81 $\pm$ 0.16 <sup>g</sup>  | 6.05 $\pm$ 0.05 <sup>ef</sup> | 23.23 $\pm$ 0.14 <sup>de</sup> |
|         | 2014 | 639 | 25.51 $\pm$ 0.17 <sup>f</sup>  | 6.12 $\pm$ 0.05 <sup>gh</sup> | 23.79 $\pm$ 0.17 <sup>f</sup>  |
|         | 2015 | 730 | 25.39 $\pm$ 0.16 <sup>f</sup>  | 5.97 $\pm$ 0.05 <sup>da</sup> | 23.25 $\pm$ 0.17 <sup>ab</sup> |
| Suri    | 2001 | 5   | 23.53 $\pm$ 1.17 <sup>a</sup>  | 3.56 $\pm$ 0.43 <sup>a</sup>  | 14.85 $\pm$ 1.47 <sup>ab</sup> |
|         | 2002 | 27  | 25.92 $\pm$ 0.59 <sup>ab</sup> | 6.41 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>  | 25.59 $\pm$ 0.70 <sup>c</sup>  |
|         | 2003 | 14  | 24.18 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>  | 6.18 $\pm$ 0.27 <sup>b</sup>  | 24.79 $\pm$ 0.92 <sup>cd</sup> |
|         | 2004 | 116 | 25.83 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>  | 6.45 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>  | 24.88 $\pm$ 0.40 <sup>de</sup> |
|         | 2005 | 183 | 29.33 $\pm$ 0.32 <sup>f</sup>  | 7.40 $\pm$ 0.12 <sup>de</sup> | 25.14 $\pm$ 0.34 <sup>f</sup>  |
|         | 2006 | 205 | 28.16 $\pm$ 0.31 <sup>e</sup>  | 7.45 $\pm$ 0.11 <sup>de</sup> | 26.30 $\pm$ 0.32 <sup>g</sup>  |
|         | 2007 | 144 | 31.44 $\pm$ 0.33 <sup>g</sup>  | 7.67 $\pm$ 0.12 <sup>f</sup>  | 24.30 $\pm$ 0.36 <sup>h</sup>  |
|         | 2008 | 197 | 28.29 $\pm$ 0.30 <sup>cd</sup> | 6.99 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>  | 27.72 $\pm$ 0.33 <sup>g</sup>  |
|         | 2009 | 214 | 29.29 $\pm$ 0.30 <sup>f</sup>  | 7.33 $\pm$ 0.11 <sup>d</sup>  | 28.69 $\pm$ 0.32 <sup>i</sup>  |
|         | 2010 | 237 | 28.91 $\pm$ 0.30 <sup>ef</sup> | 7.37 $\pm$ 0.11 <sup>da</sup> | 25.42 $\pm$ 0.31 <sup>f</sup>  |
|         | 2011 | 269 | 28.65 $\pm$ 0.29 <sup>de</sup> | 7.33 $\pm$ 0.10 <sup>d</sup>  | 25.54 $\pm$ 0.30 <sup>f</sup>  |
|         | 2012 | 252 | 28.17 $\pm$ 0.30 <sup>e</sup>  | 7.45 $\pm$ 0.11 <sup>de</sup> | 26.25 $\pm$ 0.31 <sup>g</sup>  |
|         | 2013 | 206 | 28.15 $\pm$ 0.31 <sup>e</sup>  | 7.46 $\pm$ 0.11 <sup>de</sup> | 26.36 $\pm$ 0.33 <sup>g</sup>  |
|         | 2014 | 161 | 28.17 $\pm$ 0.33 <sup>de</sup> | 7.56 $\pm$ 0.12 <sup>ef</sup> | 26.55 $\pm$ 0.36 <sup>g</sup>  |
|         | 2015 | 180 | 27.74 $\pm$ 0.34 <sup>c</sup>  | 7.30 $\pm$ 0.12 <sup>d</sup>  | 26.03 $\pm$ 0.35 <sup>g</sup>  |

(FD): fiber diameter; (SD): standard deviation; (CV): coefficient of variation.

between them. There was also an important influence of the year of recording, with an increase in FD from 2001 to 2007 and decreasing afterwards to 2015. Fig. 1 shows this evolution of these least squared means for FD jointly with the breeding values obtained in the last routine genetic evaluation for this trait (Gutiérrez et al., 2014) in order to inspect if the differences across years have to be considered genetic trends or due to changes in the management. Results for SD and CV

**Table 6**

Least squared means and standard error of the effect of coat color to fiber traits in Huacaya and Suri ecotypes. Groups with different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

| Ecotype | Color | n    | FD ( $\mu\text{m}$ )          | SD ( $\mu\text{m}$ )         | CV (%)                        |
|---------|-------|------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Huacaya | White | 5961 | 23.99 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup> | 5.25 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup> | 22.30 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup> |
|         | Cream | 2196 | 24.76 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup> | 5.75 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup> | 23.39 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup> |
|         | Dark  | 491  | 27.08 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup> | 6.66 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup> | 24.47 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup> |
| Suri    | White | 1534 | 25.05 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup> | 6.19 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup> | 24.96 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup> |
|         | Cream | 702  | 27.17 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup> | 6.69 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup> | 25.06 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup> |
|         | Dark  | 174  | 30.98 $\pm$ 0.57 <sup>c</sup> | 7.91 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup> | 25.66 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup> |

(FD): fiber diameter; (SD): standard deviation; (CV): coefficient of variation.

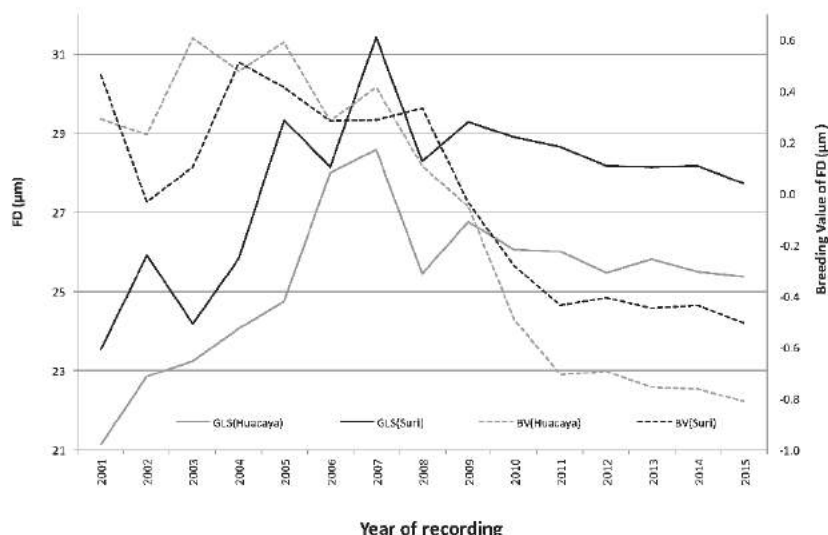
were always highly similar to those for FD.

Finally, Table 6 shows the least squared means, standard deviation of fiber traits within coat color groups, and the significant differences between them. The influence of the color was also very important. Dark animals (27.08  $\pm$  0.35  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 30.98  $\pm$  0.57  $\mu\text{m}$  in Suri) were much coarser than cream (24.76  $\pm$  0.17  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 27.12  $\pm$  0.33  $\mu\text{m}$  in Suri) and white (23.99  $\pm$  0.11  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 25.05  $\pm$  0.25  $\mu\text{m}$  in Suri) ones.

#### 4. Discussion

Mean fiber diameter was generally found much higher than in previous works for this population (see for instance Cruz et al. (2016) for the last values) because only animals older than three years were considered in this analysis in order to avoid the influence of the extreme thinness of younger animals unable to be under pregnant and lactation status.

The results showed that there was an important influence of the physiological state effect of pregnancy and lactation on the fiber traits in alpacas. By comparing the diameters of the groups defined by the sex and physiological state, three non-overlapped statistical different groups were assessed: the finest were the females on lactation pregnant or not, the intermediate was defined by the non-milking females pregnant or not, and the other group was established for the males that resulted to be the coarsest, probably because of a higher live-weight. The groups were less clearly defined for Suri due to the lower



**Fig. 1.** Least Squared Mean (LSM) across years of recording (left axis) and Standardized Mean Breeding Values (BV) (right axis) for fiber diameter (FD) across years of birth in Huacaya and Suri ecotypes.



number of records but with a similar trend, being the pregnant milking females the thinnest and the sires the coarsest. Lactation therefore appeared as a very important event conducting to reduce the diameter in female alpacas, 0.65  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 0.63  $\mu\text{m}$  in Suri in open females, and 1.21  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 1.02  $\mu\text{m}$  in Suri in pregnant females. A better performance (lower diameter) of lactating females must be carefully taken, as an excessive lack of food leads to the well known “finesse of hunger” which produces breakable fibers, defective for the textile industry. This is not expected to be influencing here as the animals in this herd are *ad libitum* and uniformly fed. On the other hand, Ferguson et al. (2011) showed in sheep that if the diet decreases when a sheep is gestating and/or lactating, it can alter not only the weight of the newborn, but also the thickness of the fiber in the same animal, affecting the wool production and the reproduction efficiency through the live weight of the female. Pregnancy did not appear as a significant effect, but in both cases M were coarser than PM females (0.05  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 0.30  $\mu\text{m}$  in Suri) and P were coarser than O females (0.51  $\mu\text{m}$  in Huacaya and 0.09  $\mu\text{m}$  in Suri). This had already been studied in merino sheep, in which the effect of nutrition on the diameter of the wool and liveweight was found to be relevant in pregnant and lactating sheep, reducing the wool production between 0.4 and 0.7 kg, and the fiber diameter between 0.5 and 1.4  $\mu\text{m}$  (Ferguson et al., 2011; Thompson et al., 2011). A similar reduction of fiber performance was found by poor nutrition in alpacas, with a loss of 0.95 kg of fleece weight, a reduction of 17 mm of staple length, and a reduction of 2.3  $\mu\text{m}$  in the diameter but with an increase in the coefficient of variation of 1.8% in Huacaya ecotype (McGregor, 2002). On the other hand, nutrition can lead to changes in liveweight, influencing in turn the fiber performance. Thus, an increase of the liveweight of young angora goats resulted in an increase in fiber diameter of 1  $\mu\text{m}$  that accumulated 2% more medullated fiber, but old angora goats were not strongly influenced by this factor (McGregor et al., 2013a, 2013b), but as commented above it is not expected to be determinant here. Nevertheless gestation and early lactation have been found to have effect on the production of medullated fibers in cashmere goats (Celi et al., 2010b). Literature is not completely consistent regarding the influence of lactation and gestation on fiber, concerning Southamerican camelids, Celi et al. (2010a) reported that the lactation would not have a significant effect on the quantity and quality of the fiber. Females with an overlapping physiological state between gestation and lactation in cashmere goats suggested that the energy expenditure should be greater in comparison to open females and non-lactating (Celi et al., 2010a, 2010b). In this case, in alpacas, the energy deposition seems to be similar than the energy expenditure needed for the formation of the fetus when females are pregnant unlike lactation state in which negative energy balance appeared much stronger. However, it has to be noted that the fiber sample was taken during the shearing around the eighth gestation month. At this stage the energy demanding has not been high yet, and, in addition, note that the mean diameter is an average of all the fiber in its length, including initial periods of the gestation in which no demanding existed. The appearance of the fleece is known to be also different in pregnant alpacas looking brighter and healthier. However, the milk synthesis implies a high nutrient demand during lactation becoming larger than the energy deposition. In this sense, alpaca milk composition is lower than in sheep, close to the values reported for goats and cattle, and very similar to the camels (Degen, and Chad et al., 2007, 2014). This low energy composition regards with the environment the alpaca lives. The feeding is relegated to low nutritional levels pastures needing to cover milk production by mobilization of the body reserves, with a low neonates mortality that could be explained by starvation due to lack of milk in the mothers (Mamani et al., 2009). On the other hand, energy demand can be balanced by the increase in diameter hypothesized by Celi et al. (2010a).

All the other effects were found to be highly influencing fiber performance. The analysis of their influence was not the main aim in

this work, but they were fitted to reduce the residual variability in order to stand out the affection of the physiological state. However, some findings merit commenting them. Concerning the age of the animals, it is well known that there is a linear and quadratic linear relationship confirmed here (Tables 2 and 4), even when for this work records have been restricted to those from adult animals. The fiber diameter follows a linear pattern across life in the early years, and then tending to become stable (Gutiérrez et al., 2011; McGregor and Butler, 2004). Tables 3 and 4 shows the means of fiber diameter (FD) for the different sex and physiological state of females across ages groups in Huacaya and Suri ecotypes. Even when the above commented influence of age is the general rule, and it is almost fulfilled for milking (PM and M) females in the Huacaya ecotype, there seems to be some interactions, but they must be taken with caution because a no so high number of records in some categories of physiological state. The correlated influence of age on the standard deviation is easily explained by the genetic correlation among all fiber traits, and it was shown also to be related with the variability across repeated measures of fiber throughout the animal life (Gutiérrez et al., 2011). It was also observed in sheep that the sex and the age of lambs influenced most of the default traits evaluated; however sex showed no influence in the fiber diameter, comfort factor and rate of fiber medullation (Cilek, 2015).

Finally, coat color had also an important influence on the fiber performance, being for example dark coat animals 3.09  $\mu\text{m}$  coarser than white ones in Huacaya, and 5.93  $\mu\text{m}$  in Suri. This was already reported by McGregor and Butler (2004). Parallel differences were found for the other fiber traits showing the importance of considering the effect in the model. However in the case of the sex of the animal, that was not found important by Gutiérrez et al. (2011) for the genetic evaluation, now it become important when females are classified according to their physiological state.

The influence of the year of recording on performances was also proven, as it was highly significant. Part of this effect gathers environmental circumstances related to climatic influence or maybe market conditioning or management changes, but it also collect genetic differences between animals as a consequence of the successful artificial selection process carried out in the herd as reported by Gutiérrez et al. (2014). Fig. 1 shows the influence of the year of recording together with the mean breeding values across years. It shows that there was an increase in the fiber diameter mean from 2001 to 2007, but the genetic evolution in this period was roughly flat. However, from 2007 onwards there was an important slope in the evolution of the genetic component that strongly contributed to a reduction in the fiber diameter during this second period. Thus, the figure suggests that the influence of the year on FD was mainly environmental until 2007, having an important genetic explanation afterwards.

The influence of the lactation and pregnancy on the fiber performance has been here quantified in alpacas. It was previously well known, also on the wool of merino sheep (Ferguson et al., 2011; Thompson et al., 2011) and cashmere goats (Celi et al., 2010a, 2010b). The findings here carry implications in the model to be used to obtain the genetic parameters of these traits and the breeding values of the animals. In fact, and in order to remove its influence on the measurements and accuracy of the methodology of fiber diameter, it was established that sample readings should be cut in snippets of 2 mm along the sample (Phillips et al., 1992), thus averaging the diameter across all the physiological states of the animal. Nevertheless, this only superficially makes up the influence on the fiber traits, and actions are concluded here to be required in the genetic evaluation process. Currently the model included an effect defining the contemporary group, the sex, the age and the coat color of the animal (Cervantes et al., 2010). Now we know that the physiological state importantly affects the fiber performance. Therefore it would be advised to split the female level of the fixed effect in several levels according to its physiological state, with one or two additional levels regarding too



young animals, but including somehow, probably as a covariate, the age of the animal as an additional effect.

## 5. Conclusion

The physiological state of the females had an important effect on the fiber performance, non-lactating females having the largest fiber diameter and pregnant lactating females the thinnest. Methodology has been developed in order to adjust the influence of the physiological state of the animal but it has been proven here not completely correct it. The relevant differences found in this study among physiological states, mainly lactation, suggests that these states should have to be accounted in the models routinely used to estimate genetic parameters in order to increase the breeding values accuracy, and to obtain a faster genetic progress in a population of animals mostly in hands of small producers needing to increase their incomes to improve their wellness.

## Conflict of interest

There is no conflict of interest for this paper.

## Acknowledgment

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## References

- Celi, R., Di Trana, A., Celi, P., 2010(aa). The influence of lactation on the quantity and quality of cashmere production. *Ital. J. Anim. Sci.* 1, 01–11.
- Celi, R., Di Trana, A., Celi, P., Marsico, G., Forcellì, M., 2010(bb). Influence of pregnancy and the beginning of lactation on pelage traits in cashmere goats. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 01–11.
- Cervantes, I., Pérez-Cabal, M.A., Morante, R., Burgos, A., Salgado, C., Nieto, B., Goyache, F., Gutiérrez, J.P., 2010. Genetic parameters and relationship between fibre and type traits in two breeds of Peruvian alpacas. *Small Rumin. Res.* 88, 6–11.
- Chad, E.K., DePeters, E.J., Puschner, B., Taylor, S.J., Robinson, J., 2014. Preliminary investigation of the composition of alpaca (*Vicugna pacos*) milk in California. *Small Rumin. Res.* 117, 165–168.
- Cilek, S., 2015. Determination of fleece qualities of malva sheep (11/16 akkaraman×5/16 dentisches merinofleischschaf) and effect of age and sex on these qualities. *Pak. J. Agric. Sci.* 52, 548–562.
- Cruz, A., Cervantes, I., Burgos, A., Morante, R., Gutiérrez, J.P., 2015. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in alpacas. *Anim. Reprod. Sci.* 163, 48–55.
- Cruz, A., Cervantes, I., Burgos, A., Morante, R., Gutiérrez, J.P., 2016. Genetic parameters estimation for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpaca. *Animal*.
- Degen, A.A., 2007. Sheep and goats milk in pastoral societies. *Small Rumin. Res.* 68, 7–19.
- Duehlmeier, R., Fluegge, I., Schwert, B., Parvizi, N., Ganter, M., 2011. Metabolic adaptations to pregnancy and lactation in German Blackheaded mutton and finn sheep ewes with different susceptibilities to pregnancy toxemia. *Small Rumin. Res.* 96, 178–184.
- Ferguson, M.R., Thompson, A.N., Gordon, D.J., Hyder, M.W., Kearney, G.A., Oldham, C.M., Paganoni, B.L., 2011. The wool production and reproduction of merino ewes can be predicted from changes in liveweight during pregnancy and lactation. *Anim. Prod. Sci.* 51, 763–775.
- González-Garduño, R., Torres-Acosta, J.F.J., Chay-Canul, A.J., 2014. Susceptibility of hair sheep ewes to nematode parasitism during pregnancy and lactation in a selective anthelmintic treatment scheme under tropical conditions. *Res. Vet. Sci.* 96, 487–492.
- Gutiérrez, J.P., 2010. Iniciación a la valoración Genética animal, Metodología adaptada al EEES. UCM Editorial Complutense, prim. ed., 214.
- Gutiérrez, J.P., Cervantes, I., Pérez-Cabal, M.A., Burgos, A., Morante, R., 2014. Weighting fibre and morphological traits in a genetic index for an alpaca breeding programme. *Animal* 8, 360–369.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Burgos, A., Cervantes, I., 2009. Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livest. Sci.* 123, 193–197.
- Gutiérrez, J.P., Varona, L., Pun, A., Morante, R., Burgos, A., Cervantes, I., Pérez-Cabal, M.A., 2011. Genetic parameters for growth of fiber diameter in alpacas. *J. Anim. Sci.* 89, 2310–2315.
- IWTO-47-95, 1993. Measurement of the Mean and Distribution of Fibre Diameter of Wool Using an Optical Diameter Analyser (OFDA). International Wool Textile Organization: Hiley, Yorkshire, UK.
- Liesegang, A., Risteli, J., Waner, M., 2006. The effects of first gestation and lactation on bone metabolism in dairy goats and milk sheep. *Bone* 38, 794–802.
- Liesegang, A., Riner, K., Boos, A., 2007. Effects of gestation and lactation on vitamin D receptor amounts in goats and sheep. *Domest. Anim. Endocrinol.* 33, 190–202.
- Mamani, J., Condamayta, Z., Celis, L., 2009. Causas de mortalidad de alpacas en tres principales centros de producción ubicados en puna seca y húmeda del departamento de Puno. *Rev. Electrónica Vet.* 10, 1–13.
- McGregor, M.A., 2002. Comparative productivity and grazing behavior of Huacaya alpacas and Peppin Merino sheep grazed on annual pastures. *Small Rumin. Res.* 44, 219–232.
- McGregor, B.A., Butler, K.L., 2004. Sources of variation in fibre diameter attributes of Australian alpacas and implication for fleece evaluation and animal selection. *Australian. J. Agric. Res.* 55, 433–442.
- McGregor, B.A., Butler, K., Ferguson, M., 2013(aa). The relationship of the incidence of medullated fibres to the dimensional properties of mohair over the lifetime of Angora goats. *Small Rumin. Res.* 115, 40–50.
- McGregor, B.A., Butler, K., Ferguson, M., 2013(bb). The relationship between the incidence of medullated fibres in mohair and live weight over the lifetime of Angora goats. *Small Rumin. Res.* 113, 90–97.
- McGregor, B.A., De Graaf, S.P., Hatcher, S., 2016. On-farm factors affecting physical quality of Merino wool. I. Nutrition, reproduction, health and management. *Small Rumin. Res.* 137, 138–150.
- Paredes, M.M., Membrillo, A., Gutiérrez, J.P., Cervantes, I., Azor, P.J., Morante, R., Molina, A., Muñoz-Serrano, A., 2014. Association of microsatellite markers with traits affecting fibre diameter in Peruvian alpacas (*Vicugna pacos*). *Livest. Sci.* 161, 6–16.
- Pérez-Cabal, M.A., Cervantes, I., Morante, R., Burgos, A., Goyache, F., Gutiérrez, J.P., 2010. Analysis of the existence of major genes affecting alpaca fibre traits. *J. Anim. Sci.* 88, 3783–3788.
- Phillips, D.G., Piper, L.R., Rottenbury, R.A., Bow, M.R., Hansford, K.A., Naylor, G.R.S., 1992. The Significance of Fibre Diameter Distribution to the Wool Industry. Textile and Fibre Technology, Report Nro. G72.
- SAS Institute INC, 1999. SAS User's Guide: Statistics 1999 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- Thompson, A.N., Ferguson, M.B., Gordon, D.J., Kearney, G.A., Oldham, C.M., Paganoni, B.L., 2011. Improving the nutrition of merino ewes during pregnancy increases the fleece weight and reduces the fibre diameter of their progeny's wool during their lifetime and these effects can be predicted from the ewe's liveweight profile. *Anim. Prod. Sci.* 51, 794–804.



## **VI. DISCUSION GENERAL**



En esta Tesis Doctoral se ha afrontado el análisis de los parámetros genéticos relativos a caracteres funcionales y secundarios de un programa de mejora genética de alpacas con la base del trabajo que ya se viene realizando en la finca experimental Pacamarca desde el año 1999. Dicho programa de mejora genética es actualmente referencia por su buena marcha en lo que se refiere a caracteres de calidad de fibra. Pacamarca, a pesar de su limitado censo, que no pasa de 2.500 animales, ha pasado así a funcionar como el núcleo de selección de alpacas más importante de Perú, por lo que no puede seguir funcionando más tiempo como un ente independiente ajeno a lo que sucede en ganaderías más desfavorecidas.

El razonamiento que impulsa al desarrollo de esta Tesis Doctoral parte de la idea de que la selección para mejorar la calidad de la fibra podría repercutir en la evolución de otros caracteres. El análisis de las consecuencias que esto puede tener sobre esos otros caracteres se hacía necesario, no sólo para prever la evolución de la población de alpacas, sino también para tener la capacidad de diseñar nuevos objetivos de selección que pudieran ser aplicados en otros contextos espaciales o temporales. El trabajo realizado en esta Tesis Doctoral ha permitido proporcionar algunas respuestas a este escenario general de incertidumbre.

La cría de alpacas en los Andes se desarrolla en las zonas más agrestes de la cordillera, donde las condiciones ambientales sólo permiten desarrollar producción de subsistencia que se obtiene estacionalmente durante los períodos de lluvia, granizo y nieve en los meses de verano e invierno. La mayor abundancia de pastos se da en los meses de diciembre a marzo, por lo que es únicamente en este período en el que se concentra el manejo reproductivo de la alpaca.

La inmensa mayoría de los productores, aproximadamente el 95%, está relegada a las condiciones de vida más desfavorecidas, sin servicios de agua, luz, salud ni educación. La migración de la población joven hacia las ciudades ha dejado el cuidado de los camélidos en manos de personas de elevada edad, sin mayores esquemas productivos que el tradicional consistente en cría de subsistencia.

Por otro lado, los bajos niveles de educación conllevan que el conocimiento referente a planes de mejora sea casi nulo. Tampoco los programas de gobierno tienen clara la forma de organizar, impulsar o apoyar los esquemas de mejora genética, desarrollando políticas cambiantes que finalmente no conceden ninguna oportunidad de desarrollo a este sector. Por ello, los esquemas de mejora genética relacionados con caracteres de calidad de fibra en las comunidades alpaqueras, se han estancado sin mayores progresos genéticos desde antes de la conquista (Wheeler *et al.*, 1995).

Asimismo los problemas sanitarios, reproductivos y productivos presentan elevada incidencia en alpacas, con una muy baja tasa de fertilidad donde aún no se puede utilizar la inseminación artificial de manera intensiva, con una muy reducida tasa de natalidad debido en parte también a la elevada tasa de reabsorción embrionaria durante las primeras cuatro semanas de concepción. La impredecible variabilidad en la disponibilidad de alimento y agua hace que muchas de las alpacas preñadas no logren llevar a término la gestación. Además, las crías recién nacidas tienen que sobreponerse a problemas sanitarios, en especial a enterotoxemias producidas por bacterias del género *Clostridium* que pueden producir una mortalidad de las crías de hasta un 90%. En estas condiciones no es posible realizar selección artificial, dado que finalmente se reproduce todo lo que nace y que al final logra sobrevivir hasta la edad reproductiva.

Afortunadamente, el otro 5% de los productores alpaqueros son empresas asociativas comunales, personas jurídicas y empresas privadas, que tienen la posibilidad de invertir en infraestructura e investigación, permitiendo un desarrollo sostenible, tanto de los animales como de las familias dependientes de este recurso. La creación del centro de mejora genética en la finca experimental Pacamarca tuvo como objetivo inicialmente la producción de un lote de alpacas extrafinas, evaluando y seleccionando por caracteres de calidad de fibra. Después de más de diecisiete años de existencia en los que se ha consolidado el programa de selección para ese tipo de caracteres, y para complementar el trabajo realizado hasta la fecha, esta Tesis Doctoral ha pretendido contribuir al conocimiento de los parámetros genéticos de caracteres funcionales y secundarios, afinando en lo



posible también los modelos ya rutinarios de estimación de parámetros genéticos y predicción de valores mejorantes.

El primer trabajo realizado corresponde a la estimación de parámetros genéticos de los caracteres reproductivos y su correlación genética con los caracteres de calidad de fibra y morfológicos. Este trabajo nos permitió conocer los niveles de variabilidad genética de los seis principales caracteres reproductivos que existen dentro de las poblaciones de *Huacaya* y *Suri*. Los resultados han mostrado heredabilidades bajas para la edad al primer servicio de 0,19 y 0,09 en *Huacaya* y *Suri* respectivamente. Del mismo modo, las heredabilidades obtenidas para el tiempo de cópula y la fertilidad, medida por el diagnóstico de gestación, tuvieron un valor tan reducido que actualmente sugieren ser descartados como caracteres objetivo de selección, excepto la edad al primer parto cuya heredabilidad fue de 0.45 y 0.59 para *Huacaya* y *Suri* respectivamente, y el intervalo entre partos, que a pesar de su inferior heredabilidad (0,14 para *Huacaya* y 0,09 para *Suri*), presenta relevantes correlaciones genéticas con el resto de caracteres reproductivos de interés.

El estudio de las correlaciones genéticas entre caracteres tiene interés porque la selección artificial orientada a modificar los valores medios de un determinado carácter inevitablemente provocará cambios en la media de otros caracteres con los que el criterio de selección utilizado tenga correlación genética (Falconer y Mackay, 1996). Este planteamiento es bidireccional en el sentido de que la selección actualmente en marcha podría estar produciendo cambios indeseados en otros caracteres. Además, cuando se plantea incorporar algún criterio de selección en un programa de mejora, es preciso predecir cómo dicha incorporación afectará a los objetivos y criterios de selección actualmente en funcionamiento. En concreto, en lo que se refiere a caracteres reproductivos, no se encontraron correlaciones genéticas desfavorables de importancia con caracteres de calidad de fibra en ambos ecotipos. En cambio, las correlaciones genéticas estimadas con caracteres morfológicos mostraban valores desfavorables en relación a la edad al primer servicio, pero favorables con la edad al primer parto y el intervalo entre partos. La edad al primer servicio obviamente presenta una mayor componente no genética relacionada con el manejo que la edad al primer parto,



razón por la que la heredabilidad resultó muy inferior en el primer caso. Dado que además la edad al primer parto presenta un elevado valor de heredabilidad y además presenta correlaciones genéticas favorables con caracteres morfológicos, este carácter se presenta como un candidato importante para ser incluido como parte de los objetivos de selección. Además no hay que olvidar la estacionalidad de la reproducción, de manera que lograr que una hembra adelante su edad al primer parto, fácilmente repercutirá en un año entero de adelanto con el consiguiente beneficio económico. Algo similar ocurre con el carácter intervalo entre partos, que además proporcionaría respuestas correlacionadas favorables en fertilidad de acuerdo a la correlación genética estimada entre estos dos caracteres (Cruz *et al.*, 2015). De todo esto se concluye que los caracteres edad al primer parto e intervalo entre partos se muestran como los dos criterios de selección que podrían ser incorporados en programas de mejora, mejorando así el rendimiento reproductivo sin afectar desfavorablemente a los principales caracteres criterio de selección actualmente, como son los caracteres de calidad de fibra y los caracteres morfológicos de tipo.

Para seguir fortaleciendo los conocimientos respecto a los parámetros genéticos y los impactos a que puede llevar el uso de los diferentes criterios de selección, la segunda parte del trabajo se llevó a cabo con el fin de conocer las implicaciones que tendría la selección para caracteres de crecimiento y supervivencia predestete sobre los caracteres productivos, reproductivos y morfológicos. Los caracteres evaluados fueron el peso al nacimiento, la alzada a la cruz al nacimiento, el peso al destete, la alzada a la cruz al destete, la ganancia media diaria entre el nacimiento y el destete y la supervivencia al destete. Se analizaron los dos ecotipos independientemente incluyendo en el modelo los efectos genéticos directo y materno. Las heredabilidades estimadas para el efecto genético directo fueron elevadas (0.50, 0.36 y 0.45 para peso al destete, talla a la cruz al destete y la ganancia media diaria) y superiores a las del efecto materno para casi todos los caracteres en *Huacaya*. En cambio en *Suri* la componente directa fue en general más alta que la materna en caracteres al destete al contrario que al nacimiento, pero en este ecotipo estos valores deben interpretarse con precaución debido al bajo número de datos.

Las correlaciones genéticas entre los caracteres de crecimiento y supervivencia predestete y el resto de caracteres no fueron importantes en lo que se refiere a caracteres morfológicos, pero se encontraron relaciones genéticas muy desfavorables entre los caracteres de fibra y los relacionados con el tamaño del animal. Las correlaciones entre el peso al destete y el diámetro de fibra serían altas y desfavorables (0.51) para ambos ecotipos (Cruz *et al.*, 2017a). Por tanto, la mejora genética de la calidad de fibra llevaría a animales de menor tamaño que incluso no serían inscritos en el libro genealógico nacional de acuerdo a las normas restrictivas de la legislación vigente para este particular. Visto en la dirección inversa, la selección para incrementar el tamaño de los animales limitaría fuertemente la mejora de la calidad de la fibra. Este escenario plantea la necesidad de estudiar cuidadosamente los objetivos y criterios de selección, particularmente en poblaciones de elevado censo en las que pueden existir fácilmente diversos intereses de selección. Una vez estudiado cuidadosamente, se recomendaría la aplicación de índices de selección que optimizasen el beneficio económico como combinación de todos los caracteres implicados (Gutiérrez *et al.*, 2014). Esta correlación se ha hecho evidente en la práctica en el rebaño experimental Pacamarca, ya que el objetivo central de mejora es la producción de fibra fina, utilizando el diámetro de la misma como criterio. Como consecuencia, el tamaño del animal se ha reducido de 72,5 a 72,1 cm, lo mismo que el peso al destete de 24,5 a 24,2 Kg. (Cruz *et al.*, 2017a). Dado que la cría de alpacas está destinada a la producción de fibra, parecería razonable reconsiderar la normativa de registro genealógico en Perú. Por otro lado las restricciones de dicha normativa implican llevar simultáneamente las labores de registro y selección cuando probablemente no correspondería en esta gestión otro proceso que no fuera únicamente el del registro.

Otra cuestión que se ha tratado en esta Tesis Doctoral se refiere al efecto de los estados de lactación y gestación sobre los caracteres relacionados con la calidad de fibra. En primer lugar, dicha influencia no había sido cuantificada anteriormente y no se sabía si mejoraba o empeoraba ni en qué medida a los principales caracteres objeto de selección. En segundo lugar, la propuesta de mejorar genéticamente los índices reproductivos conllevaría cambios en los valores

medios de estos caracteres, no como respuesta correlacionada, ya que no existe una correlación genética importante entre ambos tipos de caracteres, sino por cambios en estados fisiológicos de las hembras que afectan por la parte ambiental al rendimiento de los caracteres de calidad de fibra. Finalmente, tener en cuenta dicha influencia en la valoración genética conllevaría una reducción de la variabilidad ambiental no explicada, incrementando la heredabilidad y mejorando la precisión de las valoraciones genéticas. Para este estudio se limitó la información a aquellos animales con edad suficiente para presentar estados gestantes o lactantes, porque los animales más jóvenes son animales más finos, nunca pueden encontrarse en estado reproductivo y se confundiría la edad con el estado fisiológico del animal. Por ello sólo se contó con animales que tuvieran tres o más años de edad. Se agruparon las hembras en cuatro estados fisiológicos: gestantes, lactantes, gestantes y lactantes y vacías, y para contrastar los resultados se incluyó la información de los machos como control, con las mismas edades y años de muestreo. Los resultados mostraron que las hembras lactantes tenían un diámetro de fibra menor (1,2 y 1,0  $\mu\text{m}$  para *Huacaya* y *Suri* respectivamente) en comparación con las hembras gestantes (Cruz *et al.*, 2017b). Algo similar se había encontrado ya previamente en ganado ovino (Ferguson *et al.*, 2011). Por otro lado, el incremento en la demanda de nutrientes durante las etapas fisiológicas de gestación y lactación, no sólo tendría un efecto importante sobre el diámetro de la fibra, sino también sobre la producción de fibra medulada, ya que al parecer la competencia favorecería la producción de folículos primarios a costa de la producción de folículos secundarios tal como fue mostrado en cabras Angora (Celi *et al.*, 2010). Es importante destacar que este efecto es del tipo conocido como *finura de hambre*, que resulta poco recomendable por producir fibra quebradiza de mal rendimiento textil. Afortunadamente el sistema de manejo de la finca experimental Pacamarca garantiza que los animales se encuentran bien alimentados, y en estas condiciones la reducción del diámetro lograda es útil en la industria textil, pero debe de servir de aviso para los pequeños productores que no gozan de ambientes tan favorables, lo que por otro lado resulta ser un indicativo de la reducción del bienestar animal.

La información procedente de esta Tesis Doctoral es sin duda de mucho interés en programas de mejora genética de alpacas, y forma parte de los exitosos resultados logrados por la finca experimental Pacamarca en su programa de selección. Se aprecia de manera tangible la eficacia de la mejora genética sobre los caracteres de fibra, y se gana confianza en la posibilidad de extender este trabajo a otras poblaciones y a otros caracteres. Esto resulta alentador en un contexto en el que la producción de alpacas se encuentra con tendencia a la disminución y al deterioro. La aplicación de los resultados encontrados podría llevar a mejorar los parámetros productivos y reproductivos del área altoandina, repercutiendo indirectamente en la mejora del estado de bienestar humano de los pobladores altoandinos de Perú.





## **VII. CONCLUSIONES**





## Conclusiones

- **Primera:** La edad al primer parto y el intervalo entre partos serían los dos caracteres reproductivos más recomendables para incluir en programas de mejora por su alta heredabilidad y por las correlaciones genéticas favorables que presentan con otros caracteres reproductivos y con los caracteres relacionados con la calidad de fibra y los morfológicos. El incremento en las tasas de fertilidad y natalidad en alpacas conduciría a un mayor número de candidatos a la selección incrementando la intensidad de selección y consecuentemente la respuesta para otros caracteres.
- **Segunda:** En poblaciones de alpacas con objetivos de selección relacionados con producción cárnica sin interés en caracteres de fibra, de entre todos los caracteres de crecimiento y supervivencia predestete, el peso al destete sería el principal carácter a considerar como criterio de selección por su elevada heredabilidad y por sus correlaciones genéticas favorables con el resto de caracteres de crecimiento.
- **Tercera:** En poblaciones de alpacas con objetivo de selección centrado en la calidad de la fibra, se producirá una respuesta correlacionada desfavorable en la cobertura de las patas de los animales y en el tamaño de los mismos.
- **Cuarta:** La definición de los objetivos de selección en programas de mejora genética de alpacas es un punto clave en poblaciones que agrupen diversas aptitudes como fibra, carne o morfología, ya que las correlaciones entre los caracteres productivos, secundarios y funcionales muestran relaciones genéticas desfavorables entre algunos de los caracteres más importantes. El empleo de índices de selección diseñados cuidadosamente sería indicado en este contexto.

- **Quinta:** Las correlaciones genéticas desfavorables entre calidad de fibra y tamaño del animal sugieren la necesidad de reconsiderar la legislación de Perú en relación al registro genealógico de animales que limita la talla y peso de los mismos, ya que los animales élite en producción de fibra de calidad podrían quedarse fuera del registro por ser de un tamaño inferior al legalmente estipulado en la actualidad.
- **Sexta:** Los modelos utilizados para estimación de parámetros genéticos y para la predicción de valores genéticos deberían incluir como efecto dentro del modelo, el estado fisiológico de la hembra, cuando ésta está lactante, gestante o exista solapamiento entre ambos estados.

## Conclusions

- **First:** The age at first calving and the calving interval would be the two most interesting reproductive traits to be included as selection objectives in alpaca breeding programs because of their high heritability and the favorable genetic correlations they present with other reproductive traits and with fiber quality related traits and morphological ones. The improvement of fertility and the number of births would lead to a greater number of selection candidates by increasing the selection intensity and the genetic responses in turn for other traits.
- **Second:** In alpaca populations with selection objectives related to meat production without interest in fiber traits, weaning weight would be the main trait to be used as a selection criterion among all pre-weaning and survival traits, due to its high heritability and its favorable genetic correlation with the other growing related traits.
- **Third:** An undesired correlated genetic response will arise in the size and in the fiber coverage of alpacas being selected to improve their fiber quality.
- **Fourth:** The definition of selection objectives in breeding programs for alpacas is a key point in populations selected for combined aptitudes, such as fiber, meat or morphology, given that there were found unfavorable genetic correlations between some productive, secondary and functional traits characteristics show unfavorable genetic relationships among some of the most important. The use of carefully designed selection indices would be indicated in this context.
- **Fifth:** The unfavorable genetic correlations between fiber quality and animal size suggest the need to reconsider Peruvian legislation regarding

registration of animals limited by their size and weight, because elite animals regarding fiber quality could be left out under the current normative.

- **Sixth:** The models used to estimate genetic parameters and to predict breeding values should include the physiological pregnant and milking states of the female as an effect, whatever the female is pregnant, milking or both.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**





**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Abe H, Masuda Y, Suzuki M 2009. Relationships between reproductive traits of heifers and cows and yield traits for Holstein in Japan. *Journal of Dairy Science* 92, 4055-4062.

Adams G, Ratto M 2013. Ovulation-inducing factor in seminal plasma: a review. *Animal Reproduction Science* 136, 148-156.

Baxter BP 2001. On-farm classing of animals & fleeces with the OFDA 2000. *Wool Technology and Sheep Breeding* 49, 133-155.

Baychelier P 2000. Suri and Huacaya: Two Alleles or Two Genes?. *Proc. Australian Alpaca Ass. Nat. Conf.*, Canberra Australia, 79-85.

Bravo WP 2014. Llama and alpaca care: Chapter 27 – Artificial insemination of llama and alpacas. pp. 310-315.

Bravo WP, Fowler MR, Stabenfeldt BH, Lasley BL 1990. Endocrine responses in the llama to copulation. *Theriogenology* 33, 691-699.

Burgos A, Apaza N, Torres R, Cruz A. 2015. La “Inca Esquila”: Esquila tecnificada para la industria textil. *VII Congreso Mundial de Camélidos*, Puno, Perú, pp. 718-719.

Bustinza CV 1968. Herencia del pelaje en alpacas. *Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNA*, Puno, Perú.

Cabrera A 1931. Sobre los camélidos fósiles y actuales de la América austral. *Rev. Mus. La Plata* 33, 89-117

Cabrera A 1935. Sobre la osteología de Palaeolama. *An. Mus. Argent. C. Nat “Bernardino Rivadavia”* 66, 283-312

Calle Escobar R 1984. Animal Breeding and Production of American Camelids, Lima, Perú.

Cecchi T, Valbonesi A, Passamonti P, Frank E, Renieri C 2007. Quantitative variation of melanins in llama (*Lama pacos*). *Small Ruminant Research* 71, 52-58.

Celi R, Di Trana A, Celi P 2010. The influence of lactation on the quantity and quality of cashmere production. *Italian J. Anim. Sci.* 1, 01-11.

Cervantes I, Gutiérrez JP, Fernández I, Goyache F 2010(a). Genetic relationships among calving ease, gestation length, and calf survival to weaning in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Journal of Animal Science* 88, 96-101.

Cervantes I, Perez-Cabal MA, Morante R, Burgos A, Salgado C, Nieto B, Goyache F, Gutiérrez JP 2010(b). Genetic parameters and relationship between fibre and type traits in two breeds of Peruvian alpacas. *Small Ruminant Research* 88, 6-11.

Cransberg R, Munyard KA 2011. Polymorphisms detected in the tyrosinase and matp (slc45a2) genes did not explain coat colour dilution in a sample of Alpaca (*Vicugna pacos*). *Small Ruminant Research* 95, 92-96

Cransberg R, Wakamatsu K, Munyard KA 2013. Melanin characterisation suggest that the “Brown” phenotype in alpaca (*Vicugna pacos*) is predominantly pheomelanin. *Small Ruminant Research* 114, 240-246.

Cristofanelli S, Antonini M, Torres D, Polidori P, Renieri C 2004. Meat and carcass quality from peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*). *Meat Science* 66, 589-593.

Cruz A, Cervantes I, Burgos A, Morante R, Gutiérrez JP 2015. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in alpacas. *Animal Reproduction Science* 163, 48-55

Cruz A, Cervantes I, Burgos A, Morante R, Gutiérrez JP 2017(a). Genetic parameters estimation for preweaning traits and their relationship with reproductive, productive and morphological traits in alpaca. *Animal*, 11, 746-754.

Cruz A, Morante R, Cervantes I, Burgos A, Gutiérrez JP 2017(b). Effect of the gestation and lactation on fiber diameter and its variability in Peruvian alpacas. *Livestock Science* 198, 31-36.

Falconer DS, Mackay TFC 1996. Introduction to Quantitative Genetics, Ed. 4. Longmans Green, Harlow, Essex, UK.

Ferguson MB, Thompson AN, Gordon DJ, Hyder MW, Kearney GA, Oldham CM, Paganoni BL 2011. The wool production and reproduction of merino ewes can be predicted from changes in liveweight during pregnancy and lactation. *Animal Production Science* 51, 763-775.

Fernández-Baca S, Madden DHL, Novoa C 1970. Effects of different mating stimuli on induction of ovulation in the alpaca. *J. Reprod. Fertil.* 22, 261-267.

Franco D, Bispo E, Gonzáles L, Vázquez JA, Moreno T 2009. Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein-Friesian cull cows. *Meat Science* 83, 484-491.

Franklin WL 1982. Contrasting socioecologies of South America wild camelids: The vicuña and guanaco. En: Recent advances in the study of mammalian behavior. American Society of Mammalogists 7, Special publication. J. Eisenberg y D. Kleiman (Eds.), pp. 573-629.

Gandarillas H 1971. Identificación preliminar de los genes involucrados en la herencia del color de las llamas y alpacas. *Div. Invest. Agric. Estac. Exp. Patacamaya*, Boliva, Bol. Exp. N° 19, La Paz, Bolivia, pp. 29.

Ghiasi H, Nejati-Javaremi A, Pakdel Abbas, Gonzáles-Recio O 2013. Selection strategies for fertility traits of Holstein cowa in Iran. *Livestock Science* 152, 11-15.

Gutiérrez JP, Cervantes I, Pérez-Cabal MA, Burgos A, Morante R 2014. Weighting fibre and morphological traits in a genetic index for an alpaca breeding program. *Animal* 8, 360-369.

Gutiérrez JP, Goyache F, Burgos A, Cervantes I 2009. Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livestock Science* 123, 193-197

Gutiérrez JP, Varona L, Pun A, Morante R, Burgos A, Cervantes I, Pérez-Cabal MA 2011. Genetic parameters for growth of fiber diameter in alpacas. *Journal of Animal Science* 89, 2310-2315.

Haile-Mariam M, Pryce JE 2015. Variances and correlations of milk production, fertility, longevity and type traits over time in Australian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science* 98, 7364-7379.

Hansen Axelsson H, Johansson K, Eriksson S, Petersson KJ, Rydhmer L, Philipsson J 2011. Selection of bull dams for production and functional traits in an open nucleus herd. *Journal of Dairy Science* 94, 2592-2600.

Heintzman PD, Dazula GD, Cahill JA, Reyes AV, MacPhee RDE, Shapiro B 2015. Genomic Data From Extinct North American Camelops Revise Camel Evolution History. *MBE*. 27, 1-8

Jones JG, Bonavia D 1992. Análisis de coprolitos de llama (*Lama glama*) del Precerámico tardío de la Costa Nor-Central del Perú. En: *Bulletin de l'institut Français d'Études Andines* 3, 835-852.

Kadwell M, Fernandez M, Stanley HF, Baldi R, Wheeler JC, Rosadio R, Bruford W 2001. Genetic analysis reveals the wild ancestors of llama and alpaca. *Proceedings of the Royal Society London* 268, 2575-2584

Kramer M, Erbe M, Seefried FR, Gredler B, Bapst B, Bieber A, Simianer H 2014. Accuracy of direct genomic values for functional traits in Brown Swiss cattle. *Journal of Dairy Science* 97, 1774-1781.

Lauvergne JJ, Renieri C, Frank EN 1995. Identification of some allelic series for coat colour in domestic camelids of Argentina. In: Gerken, M., Renieri, C. (Eds.), *Proceedings of the 2nd European Symposium on South American Camelids*. Camerino, pp. 39–50.

León E 2009. Manual Técnico Alpaquero, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - IVITA, Lima, Perú.

López Aranguren DJ 1930. Camélidos fósiles argentinos. In *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 109, 15-39.

Makgahlela ML, Banga CB, Norris D, Dzama K, Ngambi JW 2008. Genetic analysis of age at first calving and calving interval in South African Holstein cattle. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 3, 197-205.

MINAG - Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, Oficina de Información Agraria 1999. Censo Nacional de Camélidos Sudamericanos y Población Mundial de Alpacas.



Morante R, Goyache F, Burgos A, Cervantes I, Pérez-Cabal MA, Gutiérrez JP 2009. Genetic Improvement for alpaca fibre production in the Peruvian altiplano: The Pacamarca experience. *Animal Genetic Resources Information* 45, 37-43.

Norma Técnica Peruana 231.301 2014. Fibra de alpaca clasificada: definiciones, clasificación por grupos de calidades, requisitos y rotulado.

Norma Técnica Peruana 231.302 2014. Fibra de alpaca en vellón: procedimiento de categorización y muestreo.

Norma Técnica Peruana 231.370 2014. Buenas prácticas de esquila y manejo del vellón de fibra de alpaca.

Obuz E, Akkaya L, Gök V, Dikeman M 2014. Effects of blade tenderization aging method and aging time on meat quality characteristics of *longissimus lumborum* steaks from cull Holstein cows. *Meat Science* 96, 1227-1232.

Paredes MM, Membrillo A, Gutiérrez JP, Cervantes I, Azor PJ, Morante R, Alonso-Moraga A, Molina A, Muñoz-Serrano A 2014. Association of microsatellite markers with fiber diameter trait in Peruvian alpacas (*Vicugna pacos*). *Livestock Science* 161, 6-16.

Pérez-Cabal MA, Alenda R 2002. Genetic relationships between lifetime profit and type traits in spanish Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 85, 3480-3491.

Pérez-Cabal MA, Cervantes I, Morante R, Burgos A, Goyache F, Gutiérrez JP 2010. Analysis of the existence of major genes affecting alpaca fiber traits. *Journal of Animal Science* 88, 3783-3788.

Pfeiffer C, Fuerst C, Ducrocq V, Fuerst-Waltl B 2015. Short communication: Genetic relationships between functional longevity and direct health traits in Austrian Fleckvieh cattle. *Journal of Dairy Science* 98, 7380-7383.

Pollot GE, Coffey MP 2008. The Effect of gentic merit and production system on dairy cow fertility measured using progesterone and on-farm recording. *Journal of Dairy Science* 91, 3649-3660.

Ponzoni RW, Hubbard DJ, Kenyon RV, Tuckwell CD, McGregor BA, Howse A, Carmichael I, Judson GJ 1997. Phenotypes resulting from *Huacaya*, *Suri* by *Huacaya* and *Suri* by *Suri* alpaca crossing. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 12, 136-139.

Powell A, Moss M, Tree L, Roeder B, Carleton C, Campbell E, Kooyman D 2008. Characterization of the effect of Melanocortin 1 Receptor, a member of the hair color genetic locus, in alpaca (*Lama pacos*) fleece color differentiation. *Small Ruminant Research* 79, 183-187.

Presciuttini S, Valbonesi A, Apaza N, Antonini M, Huanca T, Renieri C 2010. Fleece variation in alpaca (*Vicugna pacos*): a two-locus model for the *Suri/Huacaya* phenotype. *BMC Genetics* 11, 70-75

Raggi LA 2015. Carne de camélidos, principales características y ventajas para fabricación de productos gourmet de alta calidad. *VII Congreso Mundial de Camélidos* pp. 691-702.

Renieri C, Antonini M, Frank EN 2004. Fiber Recording Systems in Camelids. *ICAR Technical Series* No. 11, 131-144.

Renieri C, Valbonesi A, La Manna V, Antonini M, Lauvergne JJ 2008. Inheritance of coat color in merino sheep. *Small Ruminant Research* 74, 23-29.

Renieri C, Valbonesi A, La Manna V, Antonini A, Asparrin M 2009. Inheritance of *Suri* and *Huacaya* type of fleece in Alpaca. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 83- 91.

Robert I 2010. Camel. Inglaterra.

Ruiz J, Landeo L, Mendoza J, Artica M, Correa J, Silva M, Miragaya MS, Ratto M 2013. Vitrification of *in vitro* mature alpaca oocyte: effect of ethylene glycol concentration and time of exposure in the equilibration and vitrification solutions. *Animal Reproduction Science*. 143, 72-78.

Rupp R, Boichard D 1999. Relationship of early first lactation somatic cell count with risk of subsequent first clinical mastitis. *Livestock Production Science* 62, 169-180.

Salvá B, Zumalacárregui JM, Figueira AC, Osorio MT, Mateo J 2009. Nutrient composition and technological quality of meat from alpacas reared in Perú. *Meat Science* 82, 450-455.

Salvá B, Fernández-Diez A, Ramos D, Caro I, Mateo J 2012. Chemical composition of alpaca (*Vicugna pacos*) Charqui. *Food Chemistry* 130, 329-334.

Shook GE 2006. Major advances in Determining appropriate selection goals. *Journal of Dairy Science* 89, 1349-1361.

Smith MA, Bush RD, Thomson PC, Hopkins DL 2015. Carcass traits and saleable meat yield of alpacas (*Vicugna pacos*) in Australia. *Meat Science* 107, 1-11.

Sponenberg DP 2010. *Suri* and *Huacaya* alpaca breeding results in North America. *Small Ruminant Research* 93, 210-212.

Sumar J 1996. Reproduction in Llamas and Alpacas. *Animal Reproduction Science* 42, 405-415.

Sumar J 2013. Embryo transfer in domestic South American camelids. *Animal Reproduction Science* 3, 170-177

Sumar J, Bravo PW, Foote WC 1993. Sexual receptivity and times of ovulation in alpacas. *Small Ruminant Research* 11, 143-150.

Valbonesi A, Apaza N, La Manna V, Gonzales ML, Huanca T, Renieri C 2011. Inheritance of White black and Brown coat colours in alpacas (*Vicugna pacos*). *Small Ruminant Research* 99, 16-19.

Vaughan J, Mihm M, Wittek T 2013. Factors influencing embryo transfer success in alpacas: A retrospective study. *Animal Reproduction Science* 136, 194-204.

Velasco JM 1980. Heredabilidades y correlaciones de peso corporal y peso de vellón en alpacas. In: *Anales de la tercera reunión de la Asociación Peruana de Producción Animal (APRA)*, Lima, Perú.

Velasco JM, Condorena NA, Novoa CM, Sumar JK, Franco E 1978(a). Herencia de colores en alpacas. *Centro de Investigación IVITA*, pp. 1-3.

Velasco JM, Condorena NA, Novoa CM, Sumar JK, Franco E 1978(b). Herencia del color y tipo de fibra en alpacas. *Resúmenes de Proyectos de Investigación (1975–1979)*, UNMSM, tomo II, pp. 1–127.

Vilá B 2012. Camélidos sudamericanos. *Colección Ciencia Joven Universidad de Buenos Aires* 40, 11-22.

Webb SD 1965. The osteology of Camelops. *Bull Los Angeles Cty Museum* 1, 1-54.

Webb SD 1974. Pleistocene llamas of Florida with a brief review of the Lamini. In: Webb SD (ed) Pleistocene Mammals of Florida. *University of Florida Press*, Gainesville. 170-213.

Wheeler JC, Russel AJF, Redden H 1995. Llamas and alpacas: pre-conquest breeds and post-conquest hybrids. *J. Arch. Sci.* 22, 833-840.

### **Revisiones en versión electrónica**

Diario oficial El Peruano: [www.elperuano.gob.pe](http://www.elperuano.gob.pe)

Serving the global leather & fashion industries: [www.aplf.com](http://www.aplf.com)

Sustentabilidad productiva de pequeños rumiantes en áreas desfavorecidas:  
[www.uccor.edu.ar/paginas/agronomia/SUPPRAD.php](http://www.uccor.edu.ar/paginas/agronomia/SUPPRAD.php)



**ANEXO**





**ANEXO: Reglamento de los registros genealógicos de alpacas y llamas del Perú**



# Decreto Supremo Nº 013-2011-AG

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA:

## CONSIDERANDO:

Que, mediante Ley Nº 28350, se dictó la Ley de Promoción del Mejoramiento Genético y Conservación de las Razas de Camélidos Sudamericanos Domésticos, cuyo objeto es promover el mejoramiento genético y preservación de la alpaca y llama y declararlas como "Recurso Genético del Perú";



Que, el Reglamento de la citada Ley, aprobado por Decreto Supremo Nº 022-2005-AG, en su Segunda Disposición Transitoria establece que la Comisión Nacional de Registros Genealógicos actualizará y/o elaborará el Reglamento de los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas, en el marco de lo dispuesto por la Ley Nº 28350 y su Reglamento;



Que, si bien el artículo 30º del acotado Reglamento, consigna que los Registros Genealógicos a nivel nacional estarán a cargo de una Comisión Nacional conformada, entre otros, por representantes del Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos – CONACS y del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria – INIEA; sin embargo, como consecuencia de la fusión por absorción del CONACS en la Dirección General de Promoción Agraria hoy Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura, en materia de camélidos sudamericanos domésticos, así como, la modificación de denominación a Instituto Nacional de Innovación Agraria, conforme a lo dispuesto por el Decreto Supremo Nº 012-2007-AG, el Decreto Supremo Nº 014-2007-AG y el Decreto Legislativo Nº 997, respectivamente, la composición del Consejo Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú, debe considerar a los representantes de las dependencias públicas antes citadas;



Que, en dicho contexto, la Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura, ha propuesto el Reglamento de los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú, que resulta necesario aprobar;

De conformidad con el inciso 8 del artículo 118º de la Constitución Política del Perú y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158 – Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

## DECRETA:

**Artículo 1º.-** Apruébase el Reglamento de los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú, que consta de cinco (5) Capítulos, treinta y uno (31) artículos, una (1) disposición complementaria final, cuatro (4) disposiciones complementarias transitorias y seis (6) anexos, el mismo que forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2°.-** Por las razones expuestas en la parte considerativa de la presente resolución, modifíquese el artículo 30 del Reglamento de la Ley N° 28350, Ley de Promoción del Mejoramiento Genético y Conservación de las Razas de Camélidos Sudamericanos Domésticos, aprobado por Decreto Supremo N° 022-2005-AG, en los términos siguientes:

"Artículo 30.- Los registros Genealógicos a nivel nacional estarán a cargo de una Comisión Nacional integrada por:

- a) Dos representantes de los gremios de los criadores de alpacas y llamas registradas, uno de los cuales la presidirá. Los representantes deberán pertenecer a los gremios más representativos a nivel nacional.
- b) Un representante de la Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura.
- c) Un representante del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- d) Un representante de las universidades, especialista en la materia, designado por la Asamblea Nacional de Rectores.
- e) Un representante de los Gobiernos Regionales.

Las funciones de la Comisión se estipularán en el Reglamento de los Registros genealógicos de Alpacas y Llamas".

**Artículo 3°.-** Precítese que cualquier mención efectuada en el Reglamento de la Ley N° 28350, Ley de Promoción del Mejoramiento Genético y Conservación de las Razas de Camélidos Sudamericanos Domésticos, aprobado por Decreto Supremo N° 022-2005-AG, al Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos (CONACS) se entenderá efectuada a la Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura.

**Artículo 4°.-** Publíquese el presente Decreto Supremo en el Diario Oficial El Peruano y el Reglamento que lo aprueba en el Portal del Estado Peruano ([www.peru.gob.pe](http://www.peru.gob.pe)) y en el portal del Ministerio de Agricultura ([www.minag.gob.pe](http://www.minag.gob.pe)).

La vigencia del citado Reglamento será a partir del día siguiente de la publicación del presente Decreto Supremo.

**Artículo 5°.-** El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Agricultura.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintiocho días del mes de noviembre del año dos mil once.

OLANTA HUMALA TASSO  
Presidente Constitucional de la República

MIGUEL CAILLAUX-ZAZALI  
Ministro de Agricultura



# REGLAMENTO DE LOS REGISTROS GENEALÓGICOS DE ALPACAS Y LLAMAS DEL PERU – RGALLP

## CAPITULO I

### DISPOSICIONES GENERALES

#### Artículo 1°.- Objeto del Reglamento

Es objeto del presente Reglamento, establecer el procedimiento para la conducción, monitoreo y supervisión de los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú.

#### Artículo 2°.- Concepto de los Registros Genealógicos

Los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú (RGALLP) son el conjunto de libros y documentos donde se inscriben y registran a los mejores ejemplares de alpacas de las razas: Huacaya y Suri, y a los mejores ejemplares de llamas de las razas: K'ara y Chaqu.

Se entiende como "mejores ejemplares", al grupo selecto de animales que superan las exigencias de los estándares raciales definidos para cada especie, y que serán utilizados para la producción de reproductores, cuya carga genética se difundirá en rebaños de baja calidad.

#### Artículo 3°.- Objetivos del RGALLP

Los objetivos de los RGALLP, son:

- Establecer la filiación exacta y controlar las características productivas y reproductivas de los animales.
- Promover el mejoramiento genético de las alpacas: Huacaya y Suri y de las Llamas: K'ara y Chaqu.

#### Artículo 4°.- Pertenencia del RGALLP

Los RGALLP pertenecen a los criadores y/o propietarios de las alpacas de las razas: Huacaya y Suri; y de las llamas de las razas: K'ara y Chaqu, en su forma asociada o independiente.



#### Artículo 5°.- Conducción de los RGALLP

La conducción de los RGALLP estará a cargo de la Organización de Criadores de Alpacas y de Llamas o de las instituciones calificadas por la Comisión Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas, a propuesta de la respectiva Comisión Regional.



#### Artículo 6°.- Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de los RGALLP es a nivel nacional.

## CAPITULO II

### ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES

#### Artículo 7°.- Monitoreo, Evaluación y Supervisión de los RGALLP

El Monitoreo, evaluación y supervisión de los RGALLP, esta a cargo de la Comisión Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas y de las Comisiones Regionales de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas.

#### **Artículo 8°.- Conformación de la Comisión Nacional**

La Comisión Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú, se integra de la siguiente manera:

- a. Dos (02) representantes de los Gremios de Criadores de Alpacas y Llamas Registradas, uno de los cuales la presidirá.
- b. Un (01) representante de la Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura.
- c. Un (01) representante del Instituto Nacional de Innovación Agraria –INIA.
- d. Un (01) representante de las universidades, especialista en la materia, designado por la Asamblea Nacional de Rectores.
- e. Un (01) representante de los Gobiernos Regionales, designado por la Asamblea Nacional de los Gobiernos Regionales.

La Dirección General de Competitividad Agraria actuará como Secretaría Técnica de la Comisión Nacional. Realiza la evaluación y supervisión de los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas y apoya la gestión de éstas.

La sede de la Comisión Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú, es la ciudad de Lima.

#### **Artículo 9°.- Funciones de la Comisión Nacional**

Son funciones de la Comisión Nacional:

- a. Aprobar los lineamientos de política de los RGALLP.
- b. Editar y publicar la memoria anual nacional de los RGALLP.
- c. Resolver en segunda instancia, los reclamos regionales.
- d. Consolidar y Aprobar las memorias Regionales anuales.
- e. Elaborar, aprobar y/o modificar su Reglamento Interno.
- f. Coordinar con las Comisiones Regionales, las normas de trabajo y los programas anexos a los RGALLP que se estimen convenientes.
- g. Aprobar convenios con terceros, dando cuenta al Consejo Directivo de la Asociación o Asociaciones de Alpacas y Llamas.
- h. Aprobar y modificar los estándares raciales.
- i. Aprobar los Formatos de Registros Genealógicos.
- j. Proponer la modificación del presente Reglamento.



#### **Artículo 10°.- Sesiones de la Comisión Nacional**

La Comisión Nacional se reunirá, en forma ordinaria, por lo menos una vez al año. En forma extraordinaria, cada vez que lo convoque su Presidente a petición de por lo menos tres de sus miembros.

Para la validez de las sesiones se requiere de quórum, en primera citación, de más del cincuenta por ciento (50%) de sus miembros; y en segunda citación, con los asistentes a la sesión.



#### **Artículo 11°.- Conformación de las Comisiones Regionales**

Las Comisiones Regionales de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú, se conforman de la siguiente manera:

- a. Un (01) representante de los criadores de alpacas y Llamas reconocido oficialmente, quien lo presidirá.
- b. Un (01) representante de la Universidad de la región, especialista en la materia.
- c. Un (01) representante del Gobierno Regional.
- d. Un (01) representante de la Dirección Regional Agraria Departamental



Las Comisiones Regionales de los RGALLP, serán promovidos é instalados por los Gobiernos Regionales de los Departamentos de Puno, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Junín, Lima, Ancash, Huánuco, Pasco, Tacna, Moquegua, Apurímac, Huancavelica y La Libertad.

#### **Artículo 12°.- Funciones de las Comisiones Regionales**

Son funciones de las Comisiones Regionales:

- a. Hacer cumplir el presente Reglamento.
- b. Implementar y Monitorear la conducción de los RGALLP.
- c. Aprobar el presupuesto anual, plan operativo y memoria anual.
- d. Establecer programas inherentes y complementarios a los RGALLP.
- e. Resolver en primera instancia los reclamos de los criadores inscritos en los Registros Genealógicos.
- f. Imponer las sanciones a quienes infrinjan el presente Reglamento.
- g. Las demás funciones que sean necesarias, para el mejor cumplimiento de los objetivos de los RGALLP.
- h. Calificar y nombrar al equipo técnico evaluador.
- i. Proponer ante la Comisión Nacional la modificación de los estándares raciales
- i. Las demás que establezca su Reglamento Interno.

### **CAPITULO III**

#### **DE LA INSCRIPCIÓN DE LOS ANIMALES**

#### **Artículo 13°.- De los Registros Genealógicos**

Los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú – RGALLP, se conducirán en cada Departamento, evaluando e inscribiendo a los animales de cada raza que califiquen para los programas que contemplan los RGALLP.

#### **Artículo 14°.- Programas y libros que constituyen los RGALLP**

Los RGALLP estarán constituidos por el Programa de Libro Abierto (PLA) y el Programa de Libro Cerrado (PLC). El PLA estará a su vez conformado por el Libro Abierto de Identificadas (LAI), Libro Abierto Provisional (LAP) y Libro Abierto Definitivo (LAD). El PLC estará únicamente integrado por el Libro Cerrado de Pedigrí (LCP). El ingreso de una alpaca y/o de Llama al LAI, LAP, LAD y LCP da derecho a que el propietario y/o criador obtenga el Certificado de Registro correspondiente.

#### **Artículo 15°.- Identificación de ejemplares inscritos**

Cada uno de los ejemplares inscritos en cualquiera de los Libros que conforman los RGALL, estarán identificados de la siguiente manera:

Por el nombre: No es obligatorio que lo lleve, depende del criador y/o propietario.

Por el código: Constará de seis (06) caracteres alfanuméricos; una (01) letra que identifique la circunscripción departamental (Anexo VI) más cinco (05) caracteres numéricos, que serán asignados de manera consecutiva según la inscripción. Los dos primeros caracteres numéricos indicarán los dos últimos dígitos del año de registro del animal a inscribir en los RGALLP. La codificación completa aparecerá en el arete y tatuaje que llevará el animal de por vida.

#### **Artículo 16°.- Identificación mediante tatuaje y arete**

Los animales a ser inscritos en los libros que comprenden los RGALLP deberán estar identificados mediante tatuaje y arete. La zona de la identificación para el tatuaje será



en la cara interna del pabellón de la oreja izquierda, donde también será colocado el arete correspondiente a los RGALLP.

**Artículo 17º.- Color de aretes y microchip de identificación**

El color de los aretes asignados para los distintos Libros de los RGALLP, serán los siguientes:

|     |   |          |
|-----|---|----------|
| LAI | : | Amarillo |
| LAP | : | Verde    |
| LAD | : | Azul     |
| LCP | : | Rojo     |

Los animales inscritos en el LCP adicionalmente al arete llevarán obligatoriamente un microchip de identificación.

**Artículo 18º.- Puntaje mínimo para ingreso a libros LAI, LAP, LAD y LCP**

Las alpacas y llamas evaluadas y calificadas como candidatas al LAI, LAP, LAD y LCP deberán alcanzar una calificación mínima de 75 puntos para su ingreso definitivo a dichos libros, toda vez que los referidos animales pasarán por una evaluación y calificación definitiva en su segunda esquila. La evaluación será de acuerdo al Formato de Tarjetas de Calificación, empleados para las alpacas y llamas candidatas al LAI.

**Artículo 19º.- Inscripción en el libro LAI**

En el LAI se inscribirán a las alpacas y llamas machos y hembras a partir de los tres (03) y dos (02) años de edad, respectivamente, ambos con dos esquilas registradas por el criador y/o propietario en caso de alpacas, y siempre que cumplan con los estándares mínimos de la raza, mostrados en el Anexo I y II del presente Reglamento. Además deberán cumplir con los parámetros de producción consignados en el Anexo III.

**Artículo 20º.- Inscripción en el libro LAP**

En el LAP se inscribirá a la primera progenie "Filial 1" (F-1) cuyos progenitores se encuentran inscritos en el LAI, previa evaluación al nacimiento y al destete (8 a 10 meses), de la siguiente manera:

- En Alpacas la inscripción definitiva en el LAP se llevará a cabo previas evaluaciones de vellón a la primera y segunda esquila. La evaluación a la segunda esquila deberá regirse a lo estipulado en el Formato de Tarjetas de Calificación respectivas. Inscritos los animales, deberá cumplirse con las exigencias de los descriptores raciales consignados en el Anexo I del presente Reglamento y con los parámetros de producción consignados en el Anexo III.
- En Llamas la inscripción definitiva en el LAP se llevará a cabo previas evaluaciones de vellón (Chaqu), talla y peso vivo al primer y segundo año. La evaluación al segundo año deberá regirse a lo estipulado en el Formato de Tarjetas de Calificación respectivas. Inscritos los animales, deberá cumplirse con las exigencias de los descriptores raciales consignados en el Anexo II de este Reglamento y con los parámetros de producción consignados en el Anexo III

**Artículo 21º.- Inscripción en el libro LAD**

En el LAD se inscribirá a la segunda progenie "Filial 2" (F-2), cuyos progenitores se encuentran inscritos en el LAP; previa evaluación al nacimiento y al destete (8 a 10 meses), de la siguiente manera:



- a) En Alpacas la inscripción definitiva en el LAD se llevará a cabo previas evaluaciones de vellón a la primera y segunda esquila, y pruebas de ADN. La evaluación a la segunda esquila deberá regirse a lo estipulado en el Formato de Tarjetas de Calificación respectivas. Inscritos los animales, deberá cumplirse con las exigencias de los descriptores raciales que se muestran en el Anexo I de este Reglamento y con los parámetros de producción consignados en el Anexo III.
- b) En Llamas la inscripción definitiva en el LAD se llevará a cabo previas evaluaciones de vellón (Raza Chaqu), tamaño y peso vivo al primer y segundo año, y pruebas de ADN. La evaluación al segundo año deberá regirse a lo estipulado en el Formato de Tarjetas de Calificación respectivas. Inscritos los animales, deberá cumplirse con las exigencias de los descriptores raciales que se muestran en el Anexo II de este Reglamento y con los parámetros de producción consignados en el Anexo III.

#### **Artículo 22°.- Inscripción en el libro LCP**

En el LCP se inscribe a la tercera progenie "Filial 3" (F-3), cuyos progenitores se encuentran inscritos en el LAD; previa evaluación al nacimiento y al destete (8 a 10 meses), de la siguiente manera:

- a) En alpacas la inscripción definitiva en el LCP se llevará a cabo previas evaluaciones de vellón a la primera y segunda esquila, y pruebas de ADN que determinen su filiación e identidad genética y certifiquen su calidad. La evaluación a la segunda esquila deberá regirse a lo estipulado en el Formato de Tarjetas de Calificación respectivas. Inscritos los animales, deberá cumplirse con las exigencias de los descriptores raciales consignados en el Anexo I de este documento y con los parámetros de producción consignados en el anexo III.
- b) En Llamas la inscripción definitiva en el LCP se llevará a cabo previas evaluaciones de vellón (raza Chaqu), tamaño y peso vivo al primer y segundo año, y pruebas de ADN que determinen su filiación e identidad genética y certifiquen su calidad. La evaluación al segundo año deberá regirse a lo estipulado en el Formato de Tarjetas de Calificación respectivas. Inscritos los animales, deberá cumplirse con las exigencias de los descriptores raciales consignados en el Anexo II de este Reglamento y con los parámetros de producción consignados en el anexo III.



#### **Artículo 23°.- Registro automático a descendencia**

Los animales inscritos en el LCP, otorgarán automáticamente el registro a su descendencia, que se garantizará mediante pruebas de ADN mitocondrial que determinen su filiación.



#### **Artículo 24°.- Protección a patrimonio genético nacional**

Los animales inscritos en el LAD y LCP constituyen patrimonio genético nacional; por tanto, no podrán ser exportados bajo ningún motivo.

#### **Artículo 25°.- Causales de descalificación**

Son causales de descalificación las consignadas en el Anexo IV del presente Reglamento.

Las alpacas y llamas que ya se encuentren inscritas en cualquiera de los libros de los RGALLP y que a la re-evaluación presenten alguna de las causales del Anexo IV serán separadas de los RGALLP y el criador y/o propietario deberá entregar a la

Comisión Regional correspondiente, el Certificado de Registro del animal para su anotación y archivo correspondiente.

La reevaluación es el monitoreo permanente de la persistencia de las características fenotípicas y productivas de una alpaca y llama inscrita en los RGALLP.

#### **Artículo 26°.- Manejo técnico de animales inscritos en los RGALLP**

El manejo técnico de las alpacas y llamas inscritas en los Libros de los RGALLP, involucrará los siguientes procesos:

- a. Las alpacas y llamas hembras deberán ser apareadas mediante un sistema de empadre controlado, utilizando machos inscritos en los Libros correspondientes, a fin de garantizar el avance genético.
- b. Si existieran reproductores machos sobresalientes inscritos en los LAP, LAD y LCP; éstos se preferirán en los empadres a nivel de hembras de grupos de identificadas, provisionales y definitivas; respectivamente.
- c. Durante la campaña de parición y empadre de las alpacas registradas, se realizará el control de crías y apareamientos utilizando los Formatos de Declaración de Nacimientos y Empadres de los RGALLP, correspondientes.
- d. Una vez inscritas las alpacas y llamas en los RGALLP se realizarán los controles oportunos de producción; tales como peso vivo, peso de vellón, diámetro de fibra, de acuerdo a los formatos respectivos para ambas especies.

#### **Artículo 27°.- Actos declarables**

Los actos declarables respecto de los animales inscritos en cualquiera de los libros de los RGALLP, serán los siguientes:

El apareamiento.- El propietario y/o criador está obligado a tomar nota de los servicios efectuados, en el Formato debidamente autorizado por los RGALLP; así como, las principales ocurrencias referidas al mismo, tales como: número de registro del macho y hembra, fecha de apareamiento, tiempo de cópula, etc. El tiempo mínimo de cópula válido como acto declarable será de 10 minutos.

El nacimiento.- Inmediatamente ocurrido el parto, el criador y/o productor está obligado a llenar el Formato de Declaración de Nacimiento, usando el Formato específico del Programa de RGALLP.

La muerte.- El criador y/o productor está obligado a informar por escrito, la muerte de sus animales registrados; así como, las causas que la provocaron. Los Certificados de Registro de los animales fallecidos deberán devolverse a la oficina correspondiente de la Comisión Regional para su cancelación, anotación y archivo correspondiente.

La transferencia.- Todo cambio de propiedad de un animal inscrito en los RGALLP deberá ser comunicado por el propietario inicial a la oficina de la Comisión Regional, a fin de formalizar la transferencia respectiva. Dicho trámite deberá ser acreditado por un contrato de compraventa, y la entrega del Certificado de Registro de la alpaca o llama transferida. El nuevo propietario tiene derecho a obtener el Certificado con la actualización de datos y mantener su número de registro animal.

#### **Artículo 28°.- Forma y plazo de presentación de actos declarables**

Las declaraciones de apareamiento, nacimiento, muerte y transferencia; se presentarán a la oficina de los RGALLP según los Formatos correspondientes, dentro del mes de ocurrencia.



Del mismo modo, deberá informarse sobre las alpacas y llamas que hayan sido descalificadas durante el proceso de control de su producción, mediante un documento que sustente los motivos, firmado por el evaluador responsable y el criador o propietario.

**Artículo 29°.- Periodo de gestación**

Para los fines reglamentarios, se considera que el periodo de gestación de las alpacas y llamas es de  $342 \pm 10$  días.

**CAPITULO IV**

**DE LAS SANCIONES**

**Artículo 30°.- Tipo de sanciones**

Las Comisiones Regionales están facultadas para imponer sanciones por infracción al presente reglamento, las citadas sanciones van desde amonestación, suspensión o anulación de la inscripción en el registro, hasta la inhabilitación permanente del criador o propietario, dependiendo de la gravedad de la infracción

**CAPITULO V**

**DE LAS TARIFAS**



**Artículo 31°.- Determinación de tarifas por servicios y documentos**

La Comisión Nacional, en coordinación con las Comisiones Regionales propondrán las tarifas que rijan para cada uno de los servicios y documentos que se emitan.

En tanto se constituya la Organización de Criadores de Alpacas y de Llamas encargado de la conducción del programa de Registros Genealógicos; las Comisiones Regionales respectivas determinarán las tarifas que abonarán los criadores de alpacas y llamas por los servicios recibidos.



**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL**

**Única.-** Para los fines de aplicación del presente Reglamento, se considerará el glosario de términos técnicos que aparece en el Anexo VI.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**

**Primera.-** La Comisión Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú elabora y aprueba los formatos de los RGALLP, para cumplir con lo señalado en el artículo 3° del presente reglamento, constituyendo los Registros productivos y reproductivos de uso obligatorio por el criador.

**Segunda.-** Una vez constituida la Organización de Criadores de Alpacas y de Llamas que conducirá el Programa de RGALLP, la Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura, coordinará con los Gobiernos Regionales el fortalecimiento de sus capacidades para la conducción técnica y eficaz de los RGALLP.

**Tercera.-** La Comisión Nacional de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú y los Consejos Regionales, planificarán y programarán los procesos de transferencia, mediante mecanismos legales, y su respectiva implementación del programa de Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú

**Cuarta.-** Constituidos los órganos establecidos en este Reglamento, tendrán un plazo de ciento veinte (120) días para la elaboración y aprobación de sus respectivos estatutos.





## ANEXO I

### **ESTANDARES DE ALPACAS DE LAS RAZAS HUACAYA Y SURI**

El estándar de alpacas de las razas Huacaya y Suri, constituye el patrón que describe detalladamente las características étnicas de cada una de las razas.

Para que una alpaca, independientemente de su raza y color, ingrese a los Registros Genealógicos deberá alcanzar como mínimo 75 puntos sobre un máximo de 100.

Los descriptores están agrupados en dos líneas: vellón y conformación. Dentro de cada línea se consignan los descriptores y su puntaje respectivo, dependiendo de la raza.

#### **1. DESCRIPTORES PARA LA RAZA HUACAYA**

| DESCRIPTOR         | PUNTAJE |
|--------------------|---------|
| VELLÓN             | 70      |
| Finura             | 40      |
| Densidad           | 10      |
| Rizos              | 05      |
| Uniformidad        | 15      |
| CONFORMACIÓN       | 30      |
| Cabeza             | 10      |
| Talla              | 10      |
| Calce              | 05      |
| Apariencia General | 05      |



#### **REFERENCIAS**

##### **A. Vellón (70 puntos)**

##### **A.1 Finura (40 puntos)**

Es la principal característica productiva que determina la calidad del vellón de una alpaca, y se refiere directamente al diámetro o grosor de la fibra expresado en micras. Cabe indicar que a mayor finura mayor valor económico obtendrá el productor por su fibra; sin embargo, ello está sujeto a la obtención de un vellón adecuadamente esquilado.

| Nivel de Descriptor | Rango (micras)     | Puntaje |
|---------------------|--------------------|---------|
| Fina                | Menor o igual a 22 | 31 - 40 |
| Media               | 23 a 26            | 11 - 30 |
| Gruesa              | Mayor a 26         | 0 - 10  |

#### A.2 Densidad (10 puntos)

Referido al número de fibras que existen por unidad de superficie del vellón (milímetro cuadrado = mm<sup>2</sup>). A mayor número de fibras por mm<sup>2</sup>, mayor será la densidad y más peso tendrá el vellón del animal. Un vellón que presenta baja densidad, se siente "flojo" o "suelto" al presionar sobre el mismo.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Alta                | 8 – 10  |
| Media               | 4 – 7   |
| Baja                | 0 – 3   |

#### A.3 Rizos (5 puntos)

Característica de la fibra de las alpacas Huacaya y son ondulaciones muy pequeñas que se presentan a lo largo de la fibra.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Alto                | 4 – 5   |
| Medio               | 2 – 3   |
| Bajo                | 0 – 1   |

#### A.4 Uniformidad (15 puntos)

Característica del vellón de alpaca, la cual consiste en encontrar y observar un mismo grado de finura, densidad y rizamiento de las fibras, en las diferentes áreas del vellón del animal. La uniformidad en los vellones es una característica deseable y que se busca fijar en ambas razas.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Alta                | 11 – 15 |
| Media               | 6 – 10  |
| Baja                | 0 – 5   |



#### B. Conformación (30 puntos)

##### B.1 Cabeza (10 puntos)

El animal debe presentar cabeza relativamente pequeña, con orejas pequeñas de forma triangular, ollares amplios y boca con belfos muy móviles y con pigmentación oscura, con un copete bien formado y la cara limpia.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Buena               | 8 – 10  |
| Regular             | 4 – 7   |
| Mala                | 0 – 3   |

##### B.2 Talla (10 puntos)

También llamada alzada o altura a la cruz. Es una característica visible en el animal la cual indica su tamaño en altura. La talla se refiere a la distancia que existe desde la cruz hasta la línea de la superficie del suelo donde se encuentra parado el animal.



| Nivel de Descriptor | Rango (cm)         | Puntaje |
|---------------------|--------------------|---------|
| Alta                | Mayor o igual a 80 | 10      |
| Media               | 71 a 79            | 1 - 9   |
| Baja                | Menor o igual a 70 | 0       |

### B.3 Calce (5 puntos)

Presencia de fibra en las cañas de los miembros anteriores y posteriores de la alpaca. Un mayor calce otorga una mejor apariencia y cobertura, además que muestra a un animal de genética superior.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Bueno               | 4 - 5   |
| Regular             | 2 - 3   |
| Malo                | 0 - 1   |

### B.4 Apariencia General (5 puntos)

Expresión de la estampa del animal, aspecto o parecer exterior; determinada por la fortaleza y buena constitución ósea de sus aplomos, cuello, cabeza y línea de la columna vertebral. La alpaca debe ser corpulenta, robusta, con un vellón esponjoso que cubra todo el cuerpo. La cabeza pequeña unida a un cuello mediano y fuerte. Línea superior ligeramente convexa que continúa hasta la cola. Las extremidades deberán ser fuertes y presentar buenos aplomos, lo que dará una estampa armoniosa de apariencia general.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Buena               | 4 - 5   |
| Regular             | 2 - 3   |
| Mala                | 0 - 1   |



## 2. DESCRIPTORES PARA LA RAZA SURI

| DESCRIPTOR          | PUNTAJE   |
|---------------------|-----------|
| <b>VELLÓN</b>       | <b>70</b> |
| Finura              | 40        |
| Brillo o Lustre     | 10        |
| Rulos               | 10        |
| Densidad            | 05        |
| Uniformidad         | 05        |
| <b>CONFORMACIÓN</b> | <b>30</b> |
| Cabeza              | 10        |
| Talla               | 05        |
| Calce               | 05        |
| Apariencia General  | 10        |

## REFERENCIAS

### A. Vellón (70 puntos)

#### A.1 Finura (40 puntos)

Es la principal característica productiva que determina la calidad del vellón de una alpaca, y se refiere directamente al diámetro o grosor de la fibra expresado en micras. Cabe indicar que a mayor finura mayor valor económico obtendrá el productor por su fibra; sin embargo, ello está sujeto a la obtención de un vellón adecuadamente esquilado.

| Nivel de Descriptor | Rango (micras)     | Puntaje |
|---------------------|--------------------|---------|
| Fina                | Menor o igual a 22 | 31 – 40 |
| Media               | 23 a 26            | 11 – 30 |
| Gruesa              | Mayor a 26         | 0 – 10  |

#### A.2 Brillo o Lustre (10 puntos)

Característica física de la fibra de alpaca, la cual consiste en la expresión del grado de brillo y lustre que se manifiesta en ésta. El brillo es una característica deseable y se le relaciona con una buena calidad de la fibra, principalmente en la raza Suri.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Alto                | 8 – 10  |
| Medio               | 4 – 7   |
| Bajo                | 0 – 3   |

#### A.3 Rulos (10 puntos)

Característica de la fibra de alpacas Suri, la cual consiste en contorciones independientes a lo largo de la fibra. Su presencia es deseable en la calificación del vellón de las alpacas Suri.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Definido            | 6 – 10  |
| Intermedio          | 1 – 5   |
| No definido         | 0       |

#### A.4 Densidad (5 puntos)

Referido al número de fibras que existen por unidad de superficie del vellón (milímetro cuadrado, mm<sup>2</sup>). A mayor número de fibras por mm<sup>2</sup>, mayor será la densidad y más peso tendrá el vellón del animal. Un vellón que presenta baja densidad, se siente "flojo" o "suelto" al presionar sobre el mismo.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Alta                | 4 – 5   |
| Media               | 2 – 3   |
| Baja                | 0 – 1   |



#### A.5 Uniformidad (5 puntos)

Característica del vellón de alpaca, la cual consiste en encontrar y observar un mismo grado de finura, densidad, rulos y brillo o lustre de las fibras, en las diferentes áreas del vellón del animal. La uniformidad en los vellones es una característica deseable y que se busca fijar en ambas razas.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Alta                | 4 – 5   |
| Media               | 2 – 3   |
| Baja                | 0 – 1   |

#### B. Conformación (30 puntos)

##### B.1 Cabeza (10 puntos)

El animal debe presentar cabeza relativamente pequeña, con orejas pequeñas de forma triangular, ollares amplios y boca con bellos muy móviles y con pigmentación oscura, con un mechón típico que cae sobre la cara limpia.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Buena               | 8 – 10  |
| Regular             | 4 – 7   |
| Mala                | 0 – 3   |

##### B.2 Talla (5 puntos)

También llamada alzada o altura a la cruz. La talla se refiere a la distancia que existe desde la cruz hasta la línea de la superficie del suelo donde se encuentra parado el animal.

| Nivel de Descriptor | Rango (cm)         | Puntaje |
|---------------------|--------------------|---------|
| Alta                | Mayor o igual a 80 | 5       |
| Media               | 71 a 79            | 1 – 4   |
| Baja                | Menor o igual a 70 | 0       |

##### B.3 Calce (5 puntos)

Presencia de fibra en las cañas de los miembros anteriores y posteriores de la alpaca. Un mayor calce otorga una mejor apariencia y cobertura, además que muestra a un animal de genética superior.

| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Bueno               | 4 – 5   |
| Regular             | 2 – 3   |
| Malo                | 0 – 1   |

##### B.4 Apariencia General (10 puntos)

Expresión de la estampa del animal, aspecto o parecer exterior; determinada por la fortaleza y buena constitución ósea de sus aplomos, cuello, cabeza y línea de la columna vertebral. Expresando una



conformación rectilínea, cubierta con un vellón con fibras brillantes que cuelgan en rulos perpendiculares al cuerpo. La cabeza unida a un cuello mediano y fino. Línea superior recta que continúa hasta la cola. Las extremidades deberán ser fuertes y presentar buenos aplomos, denotando una armoniosa y esbelta silueta



| Nivel de Descriptor | Puntaje |
|---------------------|---------|
| Buena               | 8 – 10  |
| Regular             | 4 – 7   |
| Mala                | 0 – 3   |

