

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“COMPARACIÓN DE DOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO
GENÉTICO PARA LLAMAS (*Lama glama*) K'ARA EN LA
PROVINCIA DE PASCO, PERÚ”**

Presentada por:

ROY ELIAS VALENTIN GUILLERMO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Lima – Perú

2023

Document Information

| | |
|-------------------|-------------------------------------------------|
| Analyzed document | TESIS ROY VALENTIN-21-06-2022.docx (D141008707) |
| Submitted | 2022-06-22 16:17:00 |
| Submitted by | Gustavo A. Gutierrez Reynoso |
| Submitter email | gustavogr@lamolina.edu.pe |
| Similarity | 5% |
| Analysis address | gustavogr.unalm@analysis.arkund.com |

Sources included in the report

| | | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| SA | Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS - JORGE SEDANO.docx Document TESIS - JORGE SEDANO.docx (D140997003) Submitted by: gustavogr@lamolina.edu.pe Receiver: gustavogr.unalm@analysis.arkund.com |  | 11 |
| SA | TESIS EP URKUND.docx Document TESIS EP URKUND.docx (D14172280) |  | 1 |
| SA | TESIS - MILTÓN SUSTENTACIÓN 2021DICIEMBRE.docx Document TESIS - MILTÓN SUSTENTACIÓN 2021DICIEMBRE.docx (D122639985) |  | 3 |
| SA | Veronica Flores Alca Borrador.pdf Document Veronica Flores Alca Borrador.pdf (D95001915) |  | 1 |
| SA | Artículo.docx Document Artículo.docx (D40547742) |  | 1 |
| SA | 02360784_.docx Document 02360784_.docx (D61190616) |  | 1 |
| SA | PROYECTO FEDU CABRERA NÚÑEZ MARÍA 2022(3) (2)firmas.docx Document PROYECTO FEDU CABRERA NÚÑEZ MARÍA 2022(3) (2)firmas.docx (D137543351) |  | 1 |
| SA | Universidad Nacional Agraria La Molina / Tesis final Molly Solis.pdf Document Tesis final Molly Solis.pdf (D140896654) Submitted by: cbarrantes@lamolina.edu.pe Receiver: cbarrantes.unalm@analysis.arkund.com |  | 1 |
| SA | TESIS EDWIN PINO.docx Document TESIS EDWIN PINO.docx (D13733789) |  | 1 |

Entire Document

PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA LLAMAS (Lama glama) K'ARA EN LA PROVINCIA DE PASCO, PERU"
Presentado por:

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**“COMPARACIÓN DE DOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO
GENÉTICO PARA LLAMAS (*Lama glama*) K'ARA EN LA
PROVINCIA DE PASCO, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Presentada por:

ROY ELIAS VALENTIN GUILLERMO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Enrique Alvarado Malca

PRESIDENTE

Ph.D. Gustavo Gutiérrez Reynoso

ASESOR

Dra. María Wurzinger

CO – ASESOR

Dr. Jorge Aliaga Gutiérrez

MIEMBRO

Mg.Sc. María Elisa García Salas

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente para lograr mis objetivos, y el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Agustín Jesús y Saturnina Filomena; por brindarme la libertad de seguir mis ideales orientándome y ofreciendo su apoyo incondicional aun en las adversidades y tropiezos. Gracias por el esfuerzo realizado para concluir una más de mis metas que también es suya.

A mis hermanos William, Jesús, Edson, Edith, Erika, Gisela y Diana mil gracias por brindarme su apoyo moral y creer en mí por cumplir una de las metas familiares.

AGRADECIMIENTO

Al PhD. Gustavo Gutiérrez Reynoso, por su acertada dirección y apoyo incondicional como patrocinador del presente trabajo.

A la Dra. María Wurzinger, por su acertada dirección y apoyo incondicional como copatrocinadora del presente trabajo.

A los miembros de mi comité consejero: Mg. Enrique Alvarado Malca, Dr. Jorge Aliaga Gutiérrez, Mg. María Elisa García Salas.

A proyecto “IMAGEN - Innovaciones en la mejora genética altoandina: alpacas y llamas” 029-2019-FONDECYT-BM-INC.INV, por el apoyo financiero para el desarrollo de la presente investigación.

A los productores de llamas de la provincia y región Pasco por su colaboración.

A todos los amigos(as), compañeros(as) con quienes compartí gratos momentos y experiencias académicas.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. | LA LLAMA..... | 3 |
| 2.2. | CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE LA LLAMA K'ARA | 3 |
| 2.3. | PARÁMETROS GENÉTICOS DEL PESO VIVO Y OTROS CARACTERES CORPORALES | 4 |
| 2.4. | PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO | 6 |
| 2.4.1. | Objetivos y criterios de selección..... | 7 |
| 2.4.2. | Evaluación genética..... | 8 |
| 2.5. | ESTRUCTURA GENÉTICA | 9 |
| 2.6. | SIMULACIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO... .. | 13 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 15 |
| 3.1. | LOCALIZACIÓN..... | 15 |
| 3.2. | METODOLOGÍA..... | 15 |
| 3.2.1. | Propuesta técnica para la prueba de rendimiento..... | 15 |
| 3.2.2. | Simulación de dos programas de mejoramiento genético..... | 16 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 20 |
| 4.1. | PROPUESTA PARA LA PRUEBA DE RENDIMIENTO..... | 20 |
| 4.1.1. | Prueba de rendimiento..... | 20 |
| 4.2. | COMPARACION DE LOS DOS ESCENARIOS | 25 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 27 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 28 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Índices de herencia ($h^2 \pm e.e.$) para el peso corporal en diferentes etapas de la vida productiva de llamas K'ara..... | 4 |
| Cuadro 2. Índices de herencia ($h^2 \pm e.e.$) reportados en la literatura para el peso corporal en diferentes etapas de la vida productiva de llamas criadas en el Altiplano peruano..... | 5 |
| Cuadro 3. Correlaciones genéticas ($r \pm e.e.$) para características de peso vivo en llamas K'ara criadas en el Altiplano peruano. | 5 |
| Cuadro 4. Estimaciones de heredabilidad (diagonal), correlaciones genéticas (por encima de la diagonal) y correlaciones entre los efectos del ambiente permanente (por debajo de la diagonal)..... | 6 |
| Cuadro 5. Esquema de selección para alpacas en Huancavelica..... | 14 |
| Cuadro 6. Descriptores del estándar racial de llamas K'ara en el reglamento de registros genealógicos de alpacas y llamas del Perú..... | 15 |
| Cuadro 7. Información básica de dos programas de mejoramiento genético..... | 16 |
| Cuadro 8. Parámetros para solo un estrato y núcleo central | 19 |
| Cuadro 9. Descripción de los grupos para llamas K'ara..... | 21 |
| Cuadro 10. Medidas corporales, sus puntos de referencia e instrumentos utilizados. | 22 |
| Cuadro 11. Ganancia genética del peso vivo y consanguinidad por generación en los escenarios de solo un estrato y núcleo central..... | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Estructura genética de la población de solo un estrato | 10 |
| Figura 2: Estructura genética de solo dos estratos..... | 11 |
| Figura 3: Formación de un núcleo abierto de dos estratos | 11 |
| Figura 4: Diseño para núcleo central – núcleo disperso..... | 12 |
| Figura 5. Numero de machos seleccionados por año en solo un estrato | 17 |
| Figura 6. Numero de machos y hembras seleccionados por año en el núcleo central..... | 18 |
| Figura 7. Esquema de la prueba de rendimiento | 23 |

RESUMEN

Las llamas contribuyen de forma importante a la economía de las familias rurales de los Andes. Sin embargo, la crianza de llamas se caracteriza por la baja productividad, que podría incrementarse con diversas medidas como la mejora de la sanidad animal, la alimentación y programas de mejoramiento genético. Los objetivos fueron: 1) desarrollar una propuesta técnica de selección de llamas machos para la producción de carne y 2) simular la respuesta a la selección de dos programas de mejoramiento genético. El estudio se realizó en la provincia Pasco, distrito Simón Bolívar. La propuesta técnica de la prueba de rendimiento y selección de machos jóvenes, se elaboró en base a la información de la literatura, tomando en cuenta el reglamento de registros genealógicos de alpacas y llamas del Perú. En la simulación se comparó 2 escenarios, donde se evaluó la ganancia genética del peso vivo y el incremento de la consanguinidad. La ganancia genética del peso vivo al año se utilizó como base para la comparación de los 2 escenarios. En el escenario de solo un estrato participaron 40 productores y se estableció un centro de prueba de rendimiento para machos candidatos de selección. 40 machos jóvenes (uno por criador) son evaluados, de los cuales 14 son seleccionados como reemplazo por año. En el escenario de núcleo central participan 40 productores y la Cooperativa San Pedro de Racco, donde la cooperativa funcionó como un núcleo central. El núcleo se forma por machos que provienen de la cooperativa y hembras que provienen de los criadores y de la cooperativa. Además, en el núcleo se establece un centro de prueba de rendimiento para 60 machos y 77 hembras, de los cuales 21 y 27 son seleccionados al año, respectivamente. El progreso genético por generación para la ganancia del peso vivo fue 0.756 kg y 0.954 kg en el escenario de solo un estrato y núcleo central, respectivamente. El incremento de consanguinidad por generación fue para el escenario de solo un estrato de 0.3 por ciento y para el núcleo central de 0.6 por ciento. La estrategia de un núcleo genético conlleva a un mayor progreso genético, sin embargo, requiere una mejor vinculación y organización con los criadores beneficiarios.

Palabras claves: simulación, llamas, mejoramiento genético, carne

ABSTRACT

Llamas make an important contribution to the economy of rural families in the Andes. However, llama breeding is characterized by low productivity, which could be increased with various measures such as improved animal health, feeding and genetic improvement programs. The objectives of the study were: 1) to develop a technical proposal for the selection of male llamas for meat production and 2) to simulate the response to the selection of two breeding programs. The study was carried out in the Pasco province, Simón Bolívar district. The technical proposal for the performance test and selection of young males was elaborated based on information from the literature, taking into account the regulations of the Peruvian alpaca and llama genealogical registers. In the simulation, two scenarios were compared, where the genetic gain in live weight and the increase in inbreeding were evaluated. The genetic gain in live weight per year was used as the basis for the comparison of the two scenarios. In scenario 1, 40 llama breeders participated and a performance test center was established for male selection candidates. 40 young males (one per breeder) are evaluated, of which 14 are selected as replacements per year. Scenario 2 involves 40 breeders and the Cooperative San Pedro de Racco, where the cooperative functioned as a central nucleus. The nucleus is formed by males coming from the cooperative and females coming from the breeders and the cooperative. In addition, a performance testing center is established in the nucleus for 60 males and 77 females, of which 21 and 27 are selected per year, respectively. The genetic progress per generation for live weight gain was 0.756 kg and 0.954 kg in scenarios 1 and 2, respectively. The increase in inbreeding per generation was 0.3 percent for scenario 1 and 0.6 percent for scenario 2. The nucleus strategy leads to greater genetic progress, however, it requires better linkage and organization with the beneficiary breeders.

key words simulation, llamas, breeding program, meat

I. INTRODUCCIÓN

Se estima una población nacional de 746,269 llamas, y en la zona alto andina de la Región Pasco se encuentran 43,970 animales, que representan el 5.89 por ciento de la población nacional (INEI 2012). Se ha hecho evidente en el Perú una tendencia descendente de la población de llamas estimándose en los últimos 18 años que disminuyó en un 40 por ciento en los departamentos de Junín y Pasco (Gutiérrez *et al.* 2012 y Mendoza 2014). La productividad de la crianza de llamas es muy baja, debido a una mala alimentación, alta incidencia de enfermedades infecciosas y parasitarias, inadecuado manejo y animales de bajo valor genético (Huanca 2011). Diversas medidas pueden contribuir a mejorar la productividad, entre ellas figuran un mejor manejo de los rebaños y la salud animal, pero también la ejecución de programas de mejoramiento genético.

La crianza de llamas, es considerada una de las actividades más importantes e influyentes para el desarrollo de la población altoandina del Perú, no solo por su adaptación a condiciones ambientales difíciles, sino también por el uso eficiente de los pastizales de calidad nutritiva baja. Contribuyendo a la producción de fibra y carne (Wurzinger *et al.* 2020). Las llamas se utilizan como medio de transporte, fuente de alimento y fibra. La mayoría de los sistemas de crianza de llamas en nuestro ámbito altoandino son desarrollados por pequeños productores bajo sistemas de crianza familiar (Huanca 2011). Por lo tanto, se ha prestado poca atención al desarrollo de programas de mejoramiento genético.

Una de las grandes limitaciones en la determinación de la estrategia de mejora, es la carencia de registros de producción, prácticas de manejo inadecuadas que conducen a una alta mortalidad o saca de animales, y una visión no clara de las características a seleccionar constituyen entre otros factores limitantes de la mejora genética de la llama. La necesidad de solucionar estos problemas amerita investigaciones para desarrollar, implementar y diseñar estrategias de manejo y mejora genética con incorporación de nueva información y tecnología (Gutiérrez *et al.* 2019).

De tal manera, una evaluación ex - ante de las diferentes estrategias de mejoramiento genético puede ser de gran ayuda en el proceso de toma de decisiones. De tal manera que se pueden simular los efectos de las diferentes estrategias. Además, hay que tener en cuenta

varios aspectos organizativos que son cruciales para el desarrollo e implementación de un programa (Wurzinger *et al.* 2008). Así mismo, esto permitirá a los criadores orientarse a una crianza tecnificada y sostenible, a través de la mejora de los parámetros productivos de carne. Debiéndose contribuir al desarrollo de la crianza de llamas en la zona de estudio. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio fue comparar dos programas de mejoramiento genético para los productores de llamas K'ara (*Lama glama*) en Pasco. Como objetivos específicos: a) desarrollar una propuesta técnica de prueba de rendimiento y selección de llamas machos para la producción de carne, b) simular la respuesta a la selección de dos programas de mejoramiento genético.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA LLAMA

Las llamas se clasifican taxonómicamente en el siguiente orden: Artiodáctilo, Suborden: Tylopoda, Familia: Camelidae, Género: Lama y Especie: glama. (Kadwell *et al.* 2001). Las llamas son una de las dos especies de camélidos sudamericanos nativos, siendo tradicionalmente criados en zonas altoandinas donde no es imposible realizar actividades agrícolas (Wurzinger *et al.* 2020). Esto es posible ya que dichas especies se han adaptado a habitar en altitudes elevadas, haciendo un uso eficiente de los pastos nativos de bajo valor nutricional, convirtiéndolos en productos como carne y fibra. Asimismo, nos brinda servicios como transporte de mercancías (Cardozo 2007).

2.2. CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE LA LLAMA K'ARA

El tipo K'ara tiene características distintas. La cabeza es alargada, ancha y bien proporcionada; de grandes ojos negros redondos, con orejas largas y erguidas de forma aplanada. Cuello casi vertical, ligeramente arqueado. Mucho más fuerte y ancha en la base cerca de la cabeza. La cola, la espalda, el lomo y la grupa deben formar una línea superior recta y horizontal. La alzada, o altura de la cruz, es una característica visible de un animal que indica su altura. Con un pecho profundo bien desarrollado, grupa larga y ancha, con buena proporción cárnica (Maquera 1991).

Entre las principales características biológicas de las llamas están: a) un labio superior bifurcado con capacidad de seleccionar hojas de las pasturas, b) Un estómago con tres compartimentos (C1, C2 y C3), que se consideran pseudo-rumiantes, c) Mayor capacidad de absorción en la extirpación de proteína y energía de pastos de mala calidad en comparación con los rumiantes de 4 compartimentos. d) Las almohadillas plantares son adaptaciones que actúan como delicadas almohadillas en los cascos, lo que permite un paso y una locomoción confiable en terrenos montañosos con fuertes pendientes. e) Tienen pequeños glóbulos rojos de forma ovalado y hemoglobina con alta correlación en oxígeno, f) Un vellón de doble capa rodeada de fibras finas y gruesas (cerdas) protegiéndole de la intensa luz solar en altitudes elevadas y de temperaturas bajo cero, que ocurre en su gran mayoría por las noches, durante todo el año (Camino y Sumar 1992).

2.3. PARÁMETROS GENÉTICOS DEL PESO VIVO Y OTROS CARACTERES CORPORALES

En el Cuadro 1 se presenta los valores de índices de herencia para el peso vivo al nacimiento, al destete y a la primera y segunda esquila. Los índices de herencia para el peso vivo al destete, determinados por tres métodos, fueron considerados como heredabilidad muy alta en llamas del tipo K'ara (García y Leyva 2007).

Cuadro 1. Índices de herencia ($h^2 \pm e.e.$) para el peso corporal en diferentes etapas de la vida productiva de llamas K'ara

| Peso Vivo | Observaciones (n) | K'ara |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Al Nacimiento | | |
| Hermanos enteros | 1200 | 0.489 \pm 0.451 |
| Medios hermanos | 1200 | 0.510 \pm 0.245 |
| Regresión cría madre | | 0.598 \pm 0.021 |
| Al destete | | |
| Hermanos enteros | 800 | 0.645 \pm 0.545 |
| Medios hermanos | 800 | 0.610 \pm 0.225 |
| Regresión cría madre | | 0.680 \pm 0.124 |
| A la 1ra esquila | | |
| Hermanos enteros | 700 | 0.405 \pm 0.158 |
| Medios hermanos | 700 | 0.501 \pm 0.215 |
| Regresión cría madre | | 0.591 \pm 0.131 |
| A la 2da esquila | | |
| Hermanos enteros | 600 | 0.305 \pm 0.322 |
| Medios hermanos | 600 | 0.360 \pm 0.720 |
| Regresión cría madre | | 0.370 \pm 0.138 |

Fuente: García y Leyva (2007)

La heredabilidad para la característica del peso corporal en la primera esquila en llamas evaluada mediante tres métodos se consideró altamente heredable Choque y Rodríguez (1998) reportaron valores más bajos (Cuadro 2), posiblemente debido a diferencias en el número de animales, espacio geográfico, sistema de crianza y diferencia entre tipos de llamas. Por otro lado, no se ha encontrado en la literatura un valor referencial para el índice de herencia del peso vivo a la segunda esquila (García y Leyva 2007).

Cuadro 2. Índices de herencia ($h^2 \pm e.e.$) reportados en la literatura para el peso corporal en diferentes etapas de la vida productiva de llamas criadas en el Altiplano peruano

| Peso corporal | Método de análisis | $h^2 \pm e.e.$ | Referencia |
|------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| Al nacimiento | Hermanos enteros | 0.47 ± 0.24 | Choque y Rodríguez (1998) |
| | Medios hermanos | 0.45 ± 0.24 | |
| | Regresión cría -madre | 0.34 ± 0.23 | Bustinza (1991) |
| Al destete | Hermanos enteros | 0.47 ± 0.24 | Choque y Rodríguez (1998) |
| | Regresión cría -madre | 0.14 ± 0.12 | |
| A la 1ra esquila | Hermanos enteros | 0.36 ± 0.33 | Choque y Rodríguez (1998) |
| | Medios hermanos | 0.30 ± 0.59 | |
| | Regresión cría -madre | 0.53 ± 0.03 | |

Las correlaciones genéticas entre las características de peso vivo al nacimiento con peso vivo al destete y peso vivo a la primera esquila son altos y positivos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Correlaciones genéticas ($r \pm e.e.$) para características de peso vivo en llamas K'ara criadas en el Altiplano peruano

| Peso | K'ara |
|------------------|-------------------|
| Al nacimiento | |
| Destete | 0.550 ± 0.530 |
| 1ra esquila | 0.540 ± 0.740 |
| 2da esquila | 0.430 ± 0.428 |
| Al destete | |
| 1ra esquila | 0.490 ± 0.290 |
| 2da esquila | 0.045 ± 0.090 |
| A la 1ra esquila | |
| 2da esquila | 0.142 ± 0.228 |

Fuente: García y Leyva (2007)

En un estudio desarrollado en Bolivia (Wurzinger *et al.* 2005), las heredabilidades para peso corporal, altura a la cruz, perímetro torácico, longitud corporal y perímetro abdominal se estimaron en 0.36, 0.27, 0.15, 0.09 y 0.11, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estimaciones de heredabilidad (diagonal), correlaciones genéticas (por encima de la diagonal) y correlaciones entre los efectos del ambiente permanente (por debajo de la diagonal)

| | Peso Corporal | Altura a la Cruz | Perímetro Torácico | Longitud Corporal | Perímetro Abdominal |
|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Peso Corporal | 0.36±0.08 | 0.66 ^a | 0.83 ^a | 0.87 ^a | 0.82 ^a |
| Altura a la Cruz | 0.63 ^a | 0.27±0.04 | 0.81±0.02 | 0.77±0.02 | 0.65±0.03 |
| Perímetro Torácico | 0.64 ^a | 0.99±0.05 | 0.15±0.04 | 0.63±0.04 | 0.94±0.02 |
| Longitud Corporal | 0.62 ^a | 0.99±0.04 | 0.99±0.05 | 0.09±0.03 | 0.55±0.02 |
| Perímetro Abdominal | 0.65 ^a | 0.77±0.06 | 0.75±0.07 | 0.86±0.07 | 0.11±0.02 |

^a La desviación estándar no fue estimada.

Fuente: Wurzinger *et al.* (2005)

2.4. PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO

Los programas de mejoramiento genético organiza la información sobre el desempeño de los animales para evaluar el valor de cría y así seleccionar animales superiores debiendo producir la siguiente generación (Charfeddine 2000). Harris *et al.* (1984) propusieron que el diseño de un programa de mejoramiento comprende 8 fases: descripción del sistema de producción, formulación del objetivo de mejoramiento, elección del sistema de apareamiento y tipos, estimación de parámetros de selección y valores económicos, diseño del sistema de evaluación, desarrollo del criterio de selección, diseño del apareamiento de animales seleccionados, y diseño del sistema de expansión o diseminación de la superioridad genética.

Para ser exitoso en el mejoramiento genético, se necesita una planificación y mantenimiento de las operaciones del programa. Por lo tanto, es muy importante entender el nivel de utilidad y la capacidad del mejoramiento genético a través de la selección dentro de las razas locales antes de implementar una estrategia de mejoramiento (Philipson *et al.* 2011). Un programa de mejora incluye descripciones y decisiones sobre un conjunto de componentes que interactúan; los componentes principales a considerar son: descripción del sistema ambiental y de producción, caracterización de genotipos disponibles, definición de los objetivos de mejoramiento, identificación de los criterios de selección, estructura y organización (Iñiguez 1998, Sölkner *et al.* 1998, FAO 2010).

2.4.1 Objetivos y criterios de selección

Determinación del objetivo de mejoramiento

Las estrategias de ganadería sostenible, basada en recursos genéticos autóctonos, requieren una definición de objetivos amplios que enfatizan la conservación de la adaptación, la biodiversidad y la rentabilidad (Olesen *et al.* 2010), los productores deben participar de este proceso, ya que asumirán su papel en el programa de mejora (Wurzinger *et al.* 2011). Por tanto, el objetivo de mejora se determina a partir de la identificación del animal a criar, que se supone cumple con todas las características contenidas en el objetivo de mejora. Si la meta no está claramente definida, todos los efectos de los siguientes pasos para lograr la meta a través de un programa de mejoramiento no lograrán esa meta rápidamente o resultarán en que la meta se alcance de manera incorrecta (Mueller 1996).

Iglesias y Beker (2020) mencionan que para establecer el objetivo de mejoramiento es necesario considerar el genotipo agregado e inferir valores económicos para estimar el valor de cría. Para ello, es necesario decidir sobre los rasgos incluidos en la determinación del índice, luego estimar el coeficiente de regresión correspondiente a cada rasgo considerado, es decir, estimar el valor de cría de cada animal. Los objetivos de mejoramiento identifican caracteres que necesitan ser mejorados, teniendo así influencia sobre los ingresos, los costos de producción y las ganancias (Mueller 2003).

El objetivo de mejoramiento a menudo tiene dos propósitos: primero, comprender la importancia relativa de cada rasgo y la medida en que modificarlos a través del mejoramiento puede mejorar el conjunto; segundo, si se dispone de una descripción genética de los diferentes rasgos en el objetivo, obtener un índice de selección (Frank 1999). La llama k'ara ofrece un mayor potencial como productor de carne y posiblemente como animal de carga, el objetivo de mejorarlo sería desarrollar estos rasgos cuantitativos relacionados con una mayor producción y rendimiento cárnico (INIA 2006).

Determinación de los criterios de selección

Se define como criterio a la variable que será utilizada para medir el valor genético del animal. Esto debe estar altamente correlacionado con el objetivo del mejoramiento genético,

no necesariamente coincide con los rasgos contenidos en él. La selección de criterios se basa en varios aspectos: i) facilidad de medición; ii) alta correlación genética con el objetivo; iii) alta repetibilidad; iv) bajos costo de adquisición, entre otros (Frank 1999).

En llamas K'ara, los criterios son los siguientes: i) color de vellón; ii) tipo de vellón o estilo; iii) peso vivo al nacimiento, al destete, primera esquila y al año; iv) velocidad de crecimiento desde el destete hasta el año de edad; y, v) el rendimiento cárnico medido en la progenie destinada a saca (INIA 2006).

Estudios realizados en llamas madres, utilizando como criterios de selección el largo, ancho y circunferencia del pezón, para estimar el peso de la cría, han concluido que las variables peso de la madre y circunferencia superior e inferior de los muslos también deben incluirse como criterio para la selección de reproductores (Leyva y Falcón 2007). Otro estudio realizado sobre rasgos de selección en llamas indico que el área de la grupa y el volumen de muslo podrían usarse para la selección temprana en animales como productor de carne (Zea 2006).

2.4.2 Evaluación genética

La evaluación genética es un proceso de predicción del valor genético (valor de cría, merito genético) de aquellos animales seleccionados, como desviaciones de la población para uno o más rasgos importantes. En general, el objetivo de las evaluaciones genéticas actuales es derivar el valor genético agregado de los individuos, esta es la mitad del cual es la diferencia que se espera para que su descendencia tenga un promedio en comparación con la población bajo evaluación, y se denomina Diferencia Esperada de Progenie (DEP) o Habilidad de Transmisión Predicha (HPT). (Quispe y Alfonso 2007; Elzo y Vergara 2012).

La evaluación genética para el mejoramiento genético tiene muchas formas diferentes, desde la selección basada en la inspección visual de los animales hasta el uso de información molecular y el uso de sofisticadas tecnologías reproductivas para la multiplicación de los mejores animales (Mueller 2007). Al tomar datos desde el nacimiento hasta el destete, obtendremos una DEP directa (la capacidad que tendrían las crías de un padre es crecer y aumentar su peso, en comparación con el promedio del conjunto de animales para ese rasgo)

y las DEP materna (capacidad que tendrán las crías de un padre en cuidar a su descendencia, en comparación con el promedio de la población para ese rasgo) (Elzo y Vergara 2012).

- **Evaluación visual**, es un método subjetivo, basado en estándares raciales. Con este método, se detecta algunos defectos más relevantes en los animales. Estas observaciones no pueden ser cuantificadas y depende mucho del conocimiento, la experiencia y percepciones del quien lo evalúa (Cardellino 1994).
- **Prueba de rendimiento**, es un método subjetivo y objetivo, aplicado a grupos de animales basado en la información de datos de producción del individuo seleccionado, de la misma manera se requiere una evaluación visual. También se aplica en la selección de varios animales a través de un índice de selección (I), que permite comparar animales contemporáneos dentro del mismo rebaño (Cardellino 1994).
- **Prueba de progenie**, es un método objetivo, más fiable que nos permite conocer las condiciones de un individuo y la probabilidad de transmitirlos a su descendencia. Pero también nos ayuda a asegurarnos de que los hijos sean genéticamente iguales o mejores que sus padres. De la misma manera, es necesaria la evaluación visual de las generaciones, para que a partir de ello se establezca Índices BLUP utilizando indicadores sobre el valor genético de la descendencia, de manera que esto asegure nuestro éxito en el futuro mejorando el estado genético y fenotípico (Cardellino 1994; Falconer y Mackay 1996).

2.5. ESTRUCTURA GENÉTICA

La estructura genética de una población consta de dos ramas interdependientes: la demográfica y la misma genética. La demografía ha sido definida por los procesos involucrados al parámetro productivo, la dispersión de los sistemas de apareamiento y la genética estuvo definido por procesos involucrados con los genes, incluyendo a la selección, la recombinación y la mutación (Slatkin 1987).

Asimismo, están diseñados para formar dividir la población en estratos, es decir, para unir animales según su predominio genético para ciertos rasgos y/o caracteres, donde el estrato elegido, llamado plantel, elite o núcleo, difundirá esencialmente su predominio genético a

través de su descendencia logrado por inseminación artificial o empadre controlado (Mueller *et al.* 2015a). Además, los machos conocidos como reproductores, son genéticamente comunes en el rebaño o población base. También tienen valores genéticos favorables con una confianza superior al 60 por ciento, por lo que han sido probados en su totalidad (Jiménez y Jurado 2005).

2.5.1. Estructura genética de un solo estrato

La estructura de la población de un solo estrato (Figura 1) consiste en la reproducción, selección y reemplazo de los reproductores en un solo nivel; donde la progenie, tanto machos como hembras, es seleccionada para reemplazar a sus progenitores (Haile *et al.* 2011).

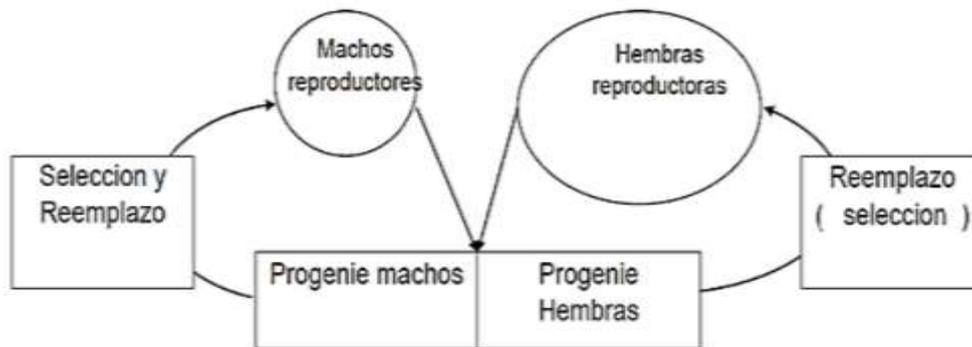


Figura 1: Estructura genética de la población de un solo estrato

Fuente: Adaptado de Haile *et al.* (2011)

2.5.2. Estructura genética de solo dos estratos

La estructura de mejora de dos estratos (Figura 2) se compone de un nivel o grupo denominado núcleo, que genera los machos para el segundo nivel denominado Comercial y para sí mismo, pero en el flujo de genes es descendente. Los estratos en general están cerrados y no hay incorporación de animales hembras del nivel base, pero pueden estar abiertos en circunstancias especiales (Haile *et al.* 2011).

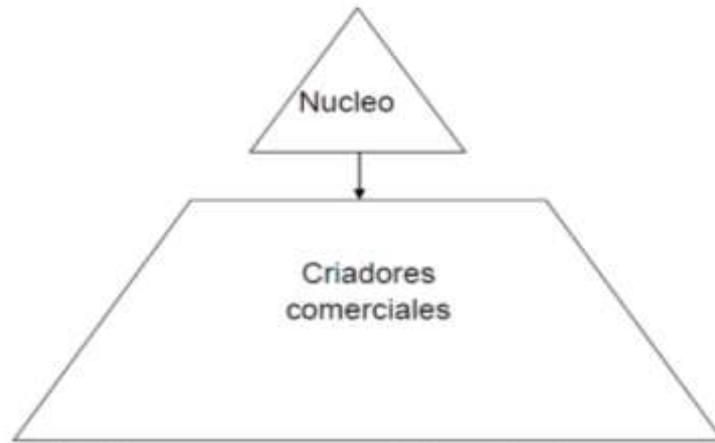


Figura 2: Estructura genética de solo dos estratos
Fuente: Adaptado de Haile *et al.* (2011)

2.5.3. Núcleo Abierto

El sistema de núcleo abierto (Figura 3) se compone de un nivel o grupo superior (núcleo) que concentra los mejores animales y un grupo inferior o base que a su vez puede constar de varios niveles. La particularidad abierta indica que es posible reemplazar hembras viejas del núcleo por hembras nacidas en la base. El mejor 10 por ciento de las hembras (madres) de toda la población conforman el núcleo y sus reemplazos provienen en partes iguales de la base y del núcleo (Mueller 1998). Este efecto aumenta el tamaño efectivo de la población al permitir la formación de líneas semiaisladas cuando el núcleo está abierto para aquellas hembras que migran desde la base (James 1977). Una gran ventaja de esta estructura es que ayuda a los productores a proporcionar las mejores hembras al núcleo para que se conviertan en madres de aquellos futuros reproductores machos (Mueller 2013).

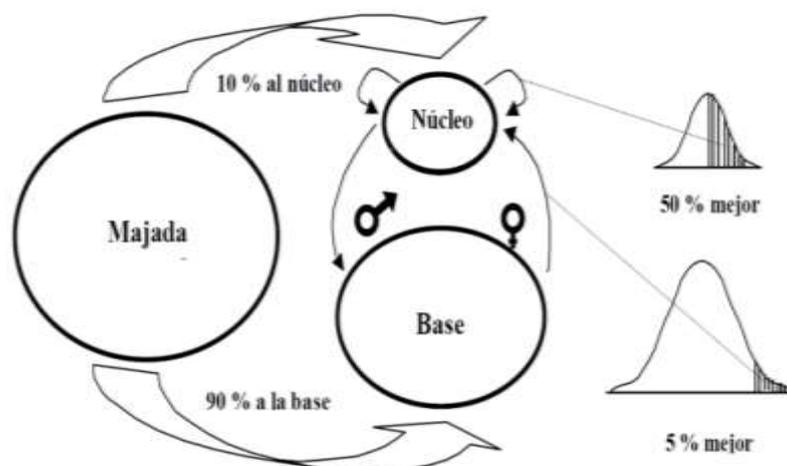


Figura 3: Formación de un núcleo abierto de dos estratos
Fuente: Adaptado de Mueller (1998)

2.5.4. Núcleo Central y Disperso

En un sistema de núcleo central los animales superiores se mantienen en cada uno de los criadores participantes, pero se utilizan padres que la vinculan genéticamente (Haile *et al.* 2011). También permite agrupar poblaciones de animales de varios rebaños para que luego sean estratificados y ubicados en un solo lugar, básicamente es un núcleo cooperativo porque los animales relacionados participan en él (Mueller 2013). La principal ventaja del núcleo central es llevar el mejor control de la producción y una recopilación precisa de los registros, esto nos permite hacer una buena evaluación genética del animal, y funciona mejor cuando hay una buena administración (Mueller 2013). Así mismo, la desventaja es que los productores tienen que ponerse de acuerdo para organizar, planificar y establecer una infraestructura, ya que esto resulta ser muy complicado a lo largo del tiempo para su sostenibilidad (Mueller *et al.* 2015b).

Un sistema de núcleo disperso se considera como un núcleo abierto con machos de referencia. En este caso no existe un núcleo central ya que los animales superiores se mantienen en cada uno de los criadores participantes, pero se utilizan padres que las vinculan genéticamente (Haile *et al.* 2011). Es decir, si las hembras que producen los mejores machos están en diferentes criadores participantes se dice que el núcleo es disperso, ya que su operatividad se basa en tener una buena coordinación y participación activa de los encargados de la producción (Wurzinger *et al.* 2008); para esto es importante el flujo de animales entre rebaños de los productores involucrados (Cardellino y Rovira 1988).

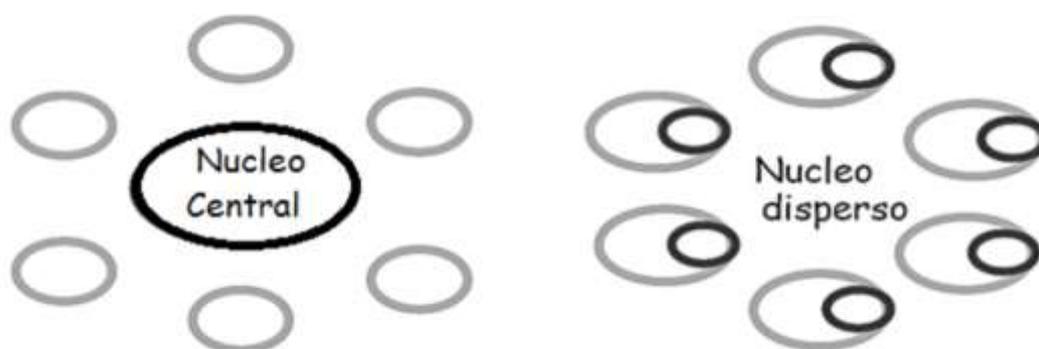


Figura 4: Diseño para núcleo central – núcleo disperso
Fuente: Adaptado de Haile *et al.* (2011)

2.6. SIMULACIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO

La simulación es una herramienta para evaluar el desempeño de sistemas existentes o propuestos en varias configuraciones de interés y en tiempo real durante largas etapas de existencia (María 1997). Los modelos de simulación se utilizan para evaluar el desempeño de alternativas predeterminadas. De esta forma, se pueden seleccionar las alternativas que produzcan los mejores resultados (Shannon 1998). Así mismo su principal ventaja es de proporcionar a los usuarios información precisa sobre el diseño, de tal manera que los usuarios puedan determinar con exactitud la eficiencia de un diseño antes de que el sistema sea construido o implementado realmente (Craig 1996). La derivación y optimización de los planes de mejoramiento abarca un gran número de decisiones que deben tomarse sobre varios componentes del programa de mejora genética. ZPLAN+ está diseñado para optimizar las estrategias de selección en ganadería mediante cálculos deterministas. ZPLAN+ calcula una serie de resultados, tales como ganancia genética monetaria anual para el genotipo agregado, la ganancia genética anual para rasgos individuales, el retorno descontado y el beneficio descontado para un período de inversión (Wurzinger *et al.* 2008). Diferentes autores (Wurzinger *et al.* 2008, Mirkena *et al.* 2012, Abegaz *et al.* 2014, Gizaw *et al.* 2014 a,b) utilizaron simulación para calcular las posibles ganancias genéticas de diversas características en diferentes especies (llamas, ovejas, cabras) manejados por productores pequeños.

Mueller y Giovannini (2010) realizaron una simulación de evaluación económica para un programa de mejora genética en ovinos; el objetivo era aumentar los ingresos vendiendo la lana más fina, y al mismo tiempo sugirieron instalar un núcleo de ovejas para producir machos de lana más fina, siendo necesario para el mismo núcleo y para la majada general, obteniendo como resultado al final; con ingresos totales de 33,618.00 dólares americanos (USD) y los costos de 9,608.00 USD, por lo tanto el beneficio económico del programa será de 24,011.00 USD, en los 15 años. También, calcularon que por cada USD invertido se producen 3.5 USD.

En un estudio de tres escenarios (Cuadro 5) con una población de 250,000 alpacas de la región Huancavelica, las mayores tasas de consanguinidad se observaron en el esquema con un gran número de hembras por macho servido. En el empadre, la máxima tasa es (cerca al

1 por ciento) en el primer esquema (1 macho por 100 hembras mediante inseminación artificial) (Quispe 2010).

Cuadro 5. Esquema de selección para alpacas en Huancavelica

| Esquema de selección | Proporción de machos seleccionados | Tasa de consanguinidad |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Núcleo de reproductores (NR) | | |
| - Buen manejo | 1 macho/33 hembras | 0.14 por ciento |
| - Regular manejo | 1 macho/45 hembras | 0.27 por ciento |
| - Inseminación artificial | 1 macho/100 hembras | 0.89 por ciento |
| Selección mixta | | |
| - Comunal (intra e inter-rebaños) | | 0.06 por ciento |
| - Núcleo de reproductores | | |
| Selección | | |
| - Comunal disperso | 4 por ciento de machos por rebaño | 0.02 por ciento |
| - Comunal | 3.38 por ciento de machos | 0.06 por ciento |

Fuente: Adaptado de Quispe (2010)

Asimismo, Wurzinger *et al.* (2008) propusieron diversos escenarios para esquemas de selección en llamas, logrando que los cambios de consanguinidad esperados estuvieron en el rango de 0.08 a 0.32% por generación. Los tres escenarios: a) uso de machos dentro de rebaños, b) uso solo en el centro de monta y c) una combinación de ambos fue comparados en términos de ganancia genética esperada e incremento de la consanguinidad. Mayor progreso genético fue alcanzado cuando los machos fueron mantenidos en el centro de monta debido a que la intensidad de selección fue más alta.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio se realizó en la Provincia de Pasco (Sierra Central del Perú), en el distrito de Simón Bolívar, a una altitud de 4200 msnm y con una extensión de 697.15 km², de topografía heterogénea, localizada entre las coordenadas - Latitud Sur 10° 41' 23" y Longitud Oeste 76° 18' 57". El clima del distrito se caracteriza como frío y seco, con una temperatura promedio que va entre 0° y 13° C.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Propuesta técnica para la prueba de rendimiento

Se elaboró una propuesta de la prueba de rendimiento y selección de machos jóvenes usando diferentes fuentes de información. La propuesta tomó en cuenta el reglamento de registros genealógicos de alpacas y llamas del Perú (RGALLP) (MINAGRI, 2011). Cuadro 6 muestra la versión actual de los descriptores del estándar racial de llamas K'ara. La selección de las mediciones biométricas se basó en diferentes estudios (Mendoza 2013, Quina 2015, Calderón 2019). Al mismo tiempo, la propuesta toma en cuenta el contexto local de la zona de estudio para garantizar la aceptación por parte de los criadores (Mueller *et al.* 2015b).

Cuadro 6. Descriptores del estándar racial de llamas K'ara en el reglamento de registros genealógicos de alpacas y llamas del Perú

| Descriptor | Puntaje |
|--------------------------------------|---------|
| CONFORMACION | 90 |
| Cabeza | 10 |
| Cuello | 5 |
| Línea superior | 10 |
| Talla | 10 |
| Pecho | 10 |
| Grupa | 10 |
| Caña | 10 |
| Aplomos | 10 |
| Apariencia general | 15 |
| VELLON - Característico de dos capas | 10 |

Fuente: Ministerio de Agricultura (2011)

Se elaboró un protocolo basado en los datos disponibles y se tomó en cuenta los siguientes puntos.

- Sitio para realizar la prueba
- Información tomada
- Evaluación de machos
- Criterios de selección
- Comité de selección de machos

3.2.2. Simulación de dos programas de mejoramiento genético

En el presente estudio se comparó 2 escenarios de programas de mejoramiento genético, donde se evaluó la ganancia de peso vivo y el carácter propiamente dicha, la evaluación se realizó a través del cálculo del progreso genético en los diferentes escenarios. Para los parámetros genéticos (heredabilidades, correlaciones genéticas a fenotípicas) se usó datos bibliográficos (Choque y Rodríguez (1998)). La ganancia genética del peso vivo al año se utilizó como base para la comparación de los 2 escenarios (Cuadro 7).

Cuadro 7. Información básica de los dos programas de mejoramiento genético

| | Solo un estrato | Núcleo central |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|
| Población en núcleo, hembras | no aplica | 410 |
| Población en núcleo, machos | no aplica | 25 |
| Población base, número de productores | 40 | 40 |
| Población base, numero de hembras | 600 | 600 |

Escenario 1. Población de solo un estrato

En el escenario de solo un estrato, participan 40 productores en el programa de mejoramiento genético. Sólo habrá un estrato y los machos reproductores se intercambiarán entre rebaños. Cada rebaño tiene al promedio 15 hembras (Rodríguez *et al.* 2021). En este escenario hay solamente una selección de los machos y las hembras jóvenes reemplazan hembras adultas. Los machos se usan por 3 años y por lo tanto se requiere 14 machos por año como reemplazo.

Los machos jóvenes son evaluados en un centro de prueba de rendimiento. La Figura 5 muestra cuantos machos pueden ser evaluados por año.

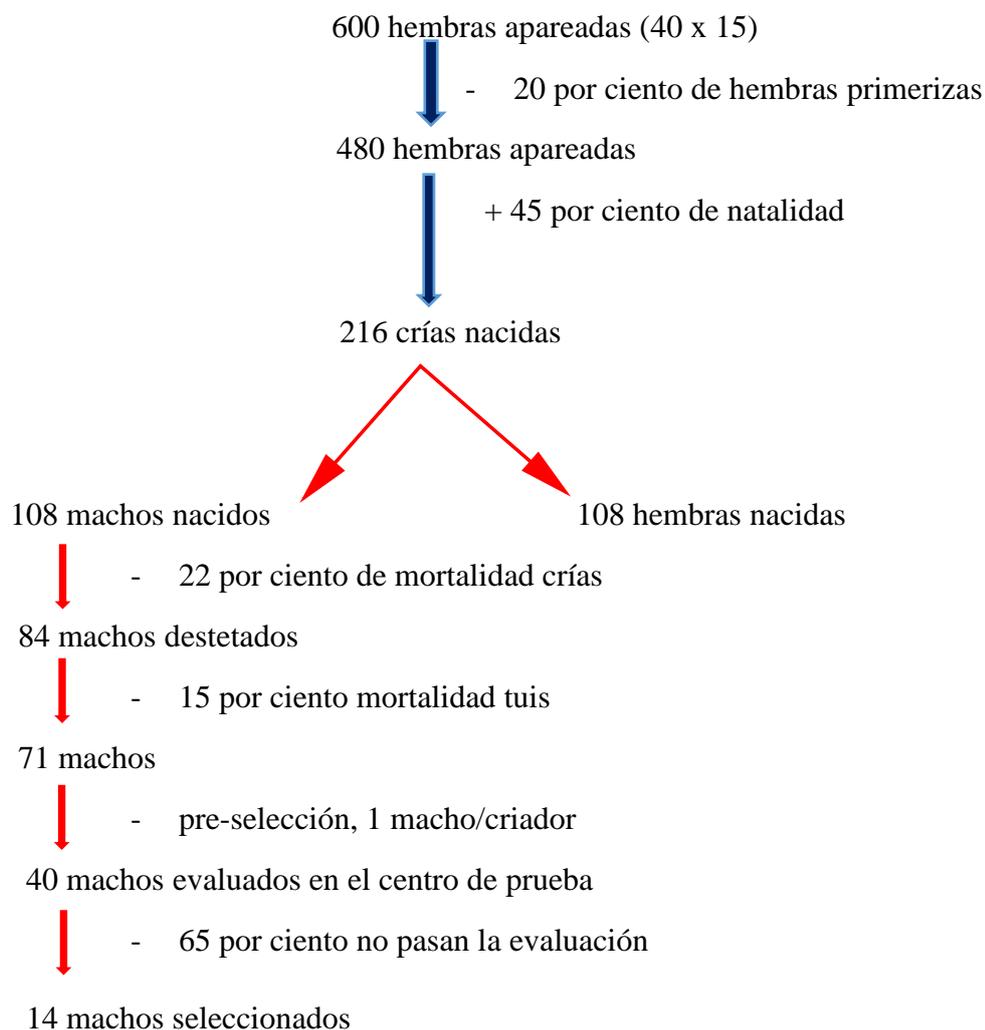


Figura 5. Numero de machos seleccionados por año en solo un estrato

Escenario 2. Núcleo central

En el escenario 2 (núcleo central) participan 40 productores y la Cooperativa San Pedro de Racco en el programa de mejoramiento genético. Además, habrá un núcleo central que proporciona machos reproductores a los participantes.

El núcleo está conformado por 410 hembras y 21 machos, donde la Cooperativa San Pedro de Racco aporta con 370 hembras y cada productor aporta con una hembra. Las crías machos del núcleo serán evaluadas a través de una prueba de rendimiento.

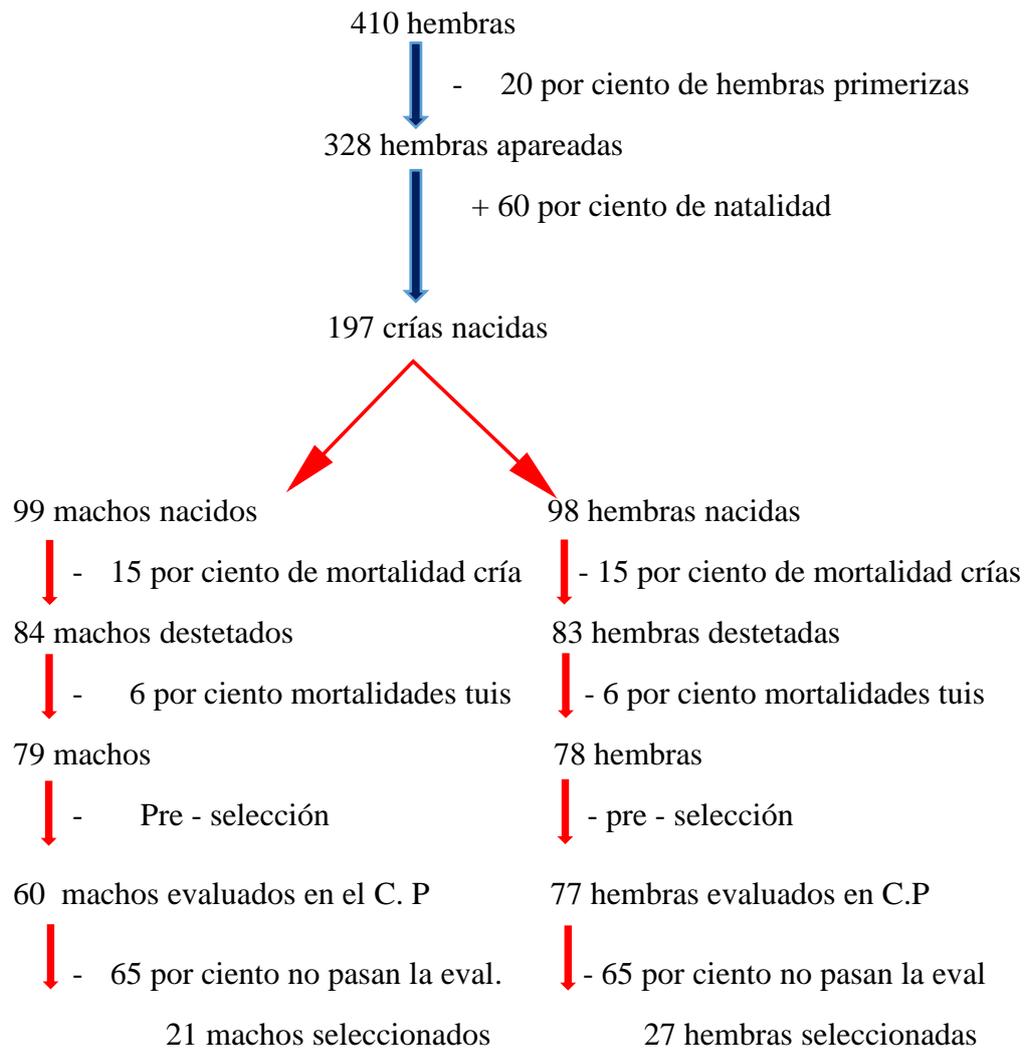


Figura 6. Numero de machos y hembras seleccionados por año en el núcleo central

Una vez obtenido los machos seleccionados el 67 por ciento de estos (21), que haciende a 14 llamas machos serán distribuidos a los criadores individuales y el 33 por ciento restantes (7) se le destinara al núcleo central.

Comparación de los dos programas de mejoramiento genético

La respuesta genética a la selección entre los dos escenarios será comparada mediante el progreso genético anual para la ganancia de peso vivo. Para ello se utilizará la siguiente formula.

$$\Delta G_X = A * i * \sigma_A$$

Donde:

ΔG : Respuesta a la selección o Progreso Genético

A: Precisión de la estimación del mérito genético

I: Intensidad de selección

σ_A : Desviación estándar aditiva

Cuadro 8. Parámetros para solo un estrato y núcleo central

| Factores | Solo un estrato | Nucleo central |
|--------------------------------------------------|-----------------|----------------|
| Precision | 0.64 | 0.64 |
| Proporción de machos seleccionados (por ciento) | 20 | 27 |
| Proporción de hembras seleccionadas (por ciento) | 0 | 0.65 |
| Intensidad de selección, machos | 1.4 | 1.271 |
| Intensidad de selección, hembras | 0 | 0.497 |
| Desviación estándar aditiva del peso vivo, kg | 1.558 | 1.558 |

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROPUESTA PARA LA PRUEBA DE RENDIMIENTO

En la siguiente sección se describen en detalle los elementos importantes que son necesarios para la implementación exitosa de la prueba de rendimiento de los machos jóvenes. Dado que las llamas K'ara se utilizan para la producción de carne, la prueba de rendimiento se centra en el potencial de crecimiento juvenil rápido.

4.1.1. Prueba de rendimiento

Se recomienda evaluar los machos en un centro de prueba para comparar animales en un ambiente uniforme y reducir los efectos ambientales. Esta prueba está recomendada para situaciones en las que hay un gran número de rebaños pequeños, cada uno de los cuales no tiene la capacidad de realizar una comparación adecuada dentro del rebaño (FAO, 1982). Dependiendo del número total de participantes en el programa de mejoramiento genético, el número de centros de prueba puede variar. Las cooperativas, que cuentan con suficiente personal técnico y también con los pastizales disponibles, pueden actuar como centros de prueba.

Preparación de la prueba de rendimiento

A los siete meses de edad se examinan todos los machos jóvenes de los ganaderos participantes en el programa de mejoramiento genético y se excluyen aquellos animales con defectos como: prognatismo, ojos zarcos, hipoplasia testicular, criptorquidias, ectopia testicular y enanismo. Franco *et al.* (2009) observaron que muchos de estos defectos son genéticos, es decir, que están presentes en el animal antes y después del nacimiento, debido a factores hereditarios, imposibilitando el proceso de mejoramiento y la etapa reproductiva del animal. Se recomienda registrar el peso al nacimiento. Este peso debe recogerse en las 48 horas siguientes al nacimiento (ICAR 2018). Machos de hembras primerizas están excluidos de la prueba de rendimiento. Al destete se toma el peso vivo y las medidas corporales, al momento son seleccionados en base a una evaluación visual, para luego ser considerados en diferentes clases, en función a los criterios que se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Descripción de los grupos para llamas K'ara

| Grupo | Descripción |
|--------------|------------------------------------------------|
| A | Buena conformación, definición y talla |
| B | Buena conformación, definición y regular talla |
| C | Regular conformación, definición y talla |
| D | Regular conformación y talla baja |

Una vez realizada la separación por clases, los animales serán distribuidos de la siguiente manera: los de la clase A y B serán ubicados en Centro de Prueba y los de clase C y D serán llevados a un centro de engorde o vendidos como animales de carne.

Además, los machos deben tener aretes y al menos sus madres también deben ser identificadas y registradas en el libro abierto de identificadas (LAI) del RGALLP. Al principio del programa de mejoramiento genético, los requisitos se mantienen bajos para admitir un gran número de animales en la prueba de rendimiento. Con el tiempo, estos requisitos se elevan gradualmente y al final sólo se admiten más candidatos cuyos padres estén inscritos en el programa de libro cerrado (PLC) del RGALLP.

Antes de llevar a los animales a la estación de pruebas, un veterinario los inspecciona y los trata contra parásitos internos (Sarcocistiosis, Distomatosis, Gastroenteritis verminosa, coccidiosis), parásitos externos (sarna, pediculosis) y también descarta animales con otras enfermedades (Queraconjuntivitis). FAO (2005) indica que estos tipos de enfermedades parasitarias son los más comunes en alpacas y llamas, es así que afecta el estado general de los animales haciendo que reduce su producción y productividad, y como también la mala calidad de carne y fibra.

Periodo de adaptación en el centro de prueba de rendimiento

Durante el período posterior al destete, los animales deben someterse a un período de adaptación previo a la prueba, que es necesario para superar en la medida de lo posible cualquier influencia ambiental previa a la prueba, y para limitar los efectos del crecimiento compensatorio durante el período de prueba. El ambiente y alimentación durante el período de adaptación debe permitir una transición fácil a las condiciones de la prueba. La duración

del período de adaptación previo a la prueba debe ser idealmente de al menos cuatro semanas (ICAR 2018).

Así mismo en esta fase el rebaño sufre procesos de adaptación a las condiciones ambientales, de manejo e infraestructura, porque han sido destetados y/o traídos de otros lugares, debido a ello se ocasiona un estrés que implicaría una baja en la inmunidad afectando los parámetros productivos y sobre todo la salud de estos animales. Una vez adaptado los animales se mantienen en los pastos y solo reciben sal mineral como suplemento. La idea es que los animales se mantengan y prueben en condiciones a las de las granjas para reducir la interacción de genotipo por ambiente. Porque esta interacción sería una de las complicaciones que se pueda presentar en la selección de los animales, partiendo del hecho que los mejores animales con buen genotipo en un ambiente no lo sean en otro, por lo que se podría reducir el progreso genético (Verde 2010).

Fase de la prueba de rendimiento, evaluación y selección de los machos

Al primer día de la prueba se toma los siguientes datos de cada animal:

- Peso vivo con una balanza electrónica
- Medidas corporales; Perímetro torácico, ancho de pecho, ancho de ancas, longitud corporal, perímetro de caña anterior y perímetro de caña posterior, con una cinta métrica inextensible comercial graduada en centímetros; para el caso de medidas de altura de cabeza, altura a la cruz y altura a la grupa con un bastón zoométrico graduado en centímetros, el cual cada medida tiene su punto de referencia, tal como se menciona en el Cuadro 9.
- Evaluar cada animal usando el puntaje de RGALLP para garantizar que los animales cumplen las normas establecidas.

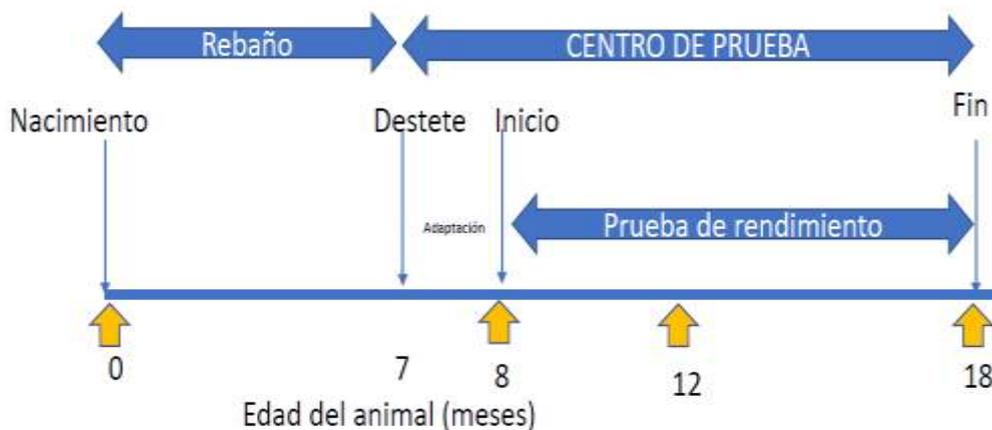
Cuadro 10. Medidas corporales, sus puntos de referencia e instrumentos utilizados.

| Medidas Corporales | Definición | Instrumento |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Altura a la cabeza | Desde el suelo hasta el punto más culminante de la cabeza. | Regla con escuadra |
| Altura a la cruz | Desde el suelo hasta el punto más culminante de la cruz (región inter escapular). | Regla con escuadra |
| Altura a la grupa | Distancia entre el punto más alto del hueso sacro hasta el nivel del suelo (perpendicular). | Regla con escuadra |

| | | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Ancho de pecho | Entre los puntos más culminantes de la articulación escapulo- humerales. | Cinta métrica |
| Ancho de anca o grupa | Distancia entre los dos trocantes (articulaciones coxa femorales). | Cinta métrica |
| Longitud corporal | Entre el punto más craneal y lateral de la articulación escapulo humeral (encuentro) y el punto más caudal de la tuberosidad isquiática (punta de la nalga). | Cinta métrica |
| Perímetro de caña anterior | Será medido alrededor del metacarpio, a la altura del tercio medio de la mano. | Cinta métrica |
| Perímetro de caña posterior | Será medido alrededor del metatarso, a la altura del tercio medio de la mano. | Cinta métrica |
| Perímetro torácico | Circunferencia a la altura de la parte anterior del tórax (inmediatamente detrás del área axilar) y la cruz (encuentro de los omoplatos). | Cinta métrica |

Toda la información se registra en una base de datos para facilitar el análisis en un siguiente paso.

La duración de la prueba es para 10 meses. Durante este periodo se toma 3 veces el peso vivo y las medidas corporales, a partir de los 8 meses.



↑ = toma de peso vivo

Figura 7. Esquema de la prueba de rendimiento

Durante el periodo de prueba se toma 3 veces la información después del destete, considerando el tiempo de adaptación, a la edad de 8, 12 y 18 meses. Que consiste tomar el

peso vivo y las medidas corporales. Adicionalmente a los 18 meses estos animales serán clasificados en base a una evaluación visual, usando el estándar racial del tipo K'ara.

La ganancia de peso entre el inicio y el fin de la prueba, nos permitirá evaluar el potencial genético de crecimiento del animal. La ganancia diaria de peso después del destete indica el incremento diario de peso (en gramos) en un periodo de prueba determinado, se puede calcular usando la siguiente fórmula.

$$GDP = \frac{P F - P I}{\text{Dias de Prueba}}$$

GDP = Ganancia diaria de peso

PF = Peso final

PI = Peso inicial

Al finalizar la prueba se tendrán identificados los mejores animales para reemplazo en base a sus ganancias de peso vivo, los mismos que pasarán nuevamente una evaluación visual, tomando en cuenta el estándar del tipo K'ara desarrollado en los Registros Genealógicos de Alpacas y Llamas del Perú (RGALLP) (Ministerio de Agricultura 2011), que se presenta en el Cuadro 6.

Una comisión de evaluación realiza una inspección final de todos los machos probados. Los machos tienen que alcanzar al menos 75 puntos del sistema RGALLP para ser seleccionados como machos reproductores.

Este comité está compuesto por cinco miembros: el responsable del RGALLP y cuatro criadores que participan en el programa de mejoramiento genético. Para incluir diferentes opiniones, se deberá incluir persona joven y con conocimiento en la zootecnia y como también se deberá incluir como mínimo una dama.

La decisión final sobre la selección del reproductor corresponde al criador. La única condición es que el criador no puede seleccionar su propio macho. Esto garantiza que, a largo plazo, la consanguinidad se mantenga en un nivel bajo y que exista un vínculo genético entre los distintos rebaños.

4.2. COMPARACIÓN DE LOS DOS ESCENARIOS

El Cuadro 11 resume los resultados de los dos escenarios. En el escenario de solo un estrato, el progreso genético por generación de 0.756 kg es menor que en el escenario de núcleo central, donde se alcanza un valor de 0.954 kg. Esta diferencia puede explicarse por el hecho de que en el escenario de núcleo central hay una selección más estricta por parte de los machos y también una selección adicional de las hembras reproductoras. Sin embargo, a la hora de interpretar los resultados, hay que tener en cuenta que este progreso genético en el escenario de núcleo central sólo se realiza en el núcleo. Sólo con un retraso de tiempo este progreso se hace medible en toda la población a través de la transferencia de los machos reproductores a los rebaños de los criadores.

Cuadro 11. Ganancia genética del peso vivo y consanguinidad por generación en los escenarios de solo un estrato y núcleo central

| Factores | Solo un estrato | | Núcleo central | |
|----------------------------------------------------------|-----------------|---------|----------------|---------|
| | Machos | Hembras | Machos | Hembras |
| A (precisión de la estimación del mérito genético) | 0.693 | 0 | 0.693 | 0.693 |
| Proporción de animales seleccionados | 0.20 | 0 | 0.27 | 0.65 |
| i (intensidad de selección) | 1.4 | 0 | 1.271 | 0.497 |
| σ_A (desviación estándar aditiva), kg | 1.558 | 1.558 | 1.558 | 1.558 |
| ΔG (Ganancia genética por generación), kg | 0.756 | | 0.954 | |
| ΔF (Incremento de la consanguinidad), por ciento | 0.3 | | 0.6 | |

La desventaja del núcleo central es el valor de consanguinidad significativamente mayor (Cuadro 11). Al tratarse de un núcleo cerrado, no se introducen nuevos animales reproductores en la población. Por lo tanto, en la práctica hay que procurar evitar, o al menos reducir, los apareamientos de parientes cercanos. Además, se puede considerar si los animales reproductores de la población base también se reintroducen en el núcleo a intervalos regulares. Esto también sería bueno para asegurar el vínculo genético entre el núcleo y la base.

Sin embargo, los dos escenarios también difieren en su estructura y organización.

El escenario de solo un estrato, es fácil de organizar, ya que sólo se organiza la prueba de rendimiento de los machos jóvenes. Aquí se garantiza que los animales se someten a pruebas en condiciones ambientales comparables. Otra cuestión importante es la rotación de los machos jóvenes. Los criadores deben estar de acuerdo en que nadie puede retirar a su propio candidato de la prueba. De este modo, se puede establecer un vínculo genético entre los rebaños. En este escenario, el programa de mejoramiento genético puede tener éxito incluso si uno o más criadores abandonan. En este caso, sólo se reduce la población, pero el programa puede continuar. Sólo se reduce el número de animales jóvenes que deben someterse a las pruebas.

Una ventaja del núcleo central es que se pueden recoger más datos sobre la producción y el rendimiento reproductivo tanto de las hembras como de los machos de un núcleo. Los apareamientos pueden ser selectivos y se puede recopilar mejor información sobre el pedigrí. En este escenario, sin embargo, los ganaderos ceden la responsabilidad a la cooperativa y se vuelven más dependientes. En este caso, también deben quedar claras las responsabilidades de ambas partes para garantizar que no haya desventajas para los ganaderos en caso de cambio de gestión en la cooperativa. Una posible solución podría ser la creación de una comisión formada por representantes de la cooperativa y representantes de los ganaderos.

V. CONCLUSIONES

1. La prueba de rendimiento para la selección de llamas machos K'ara por caracteres de crecimiento es factible.
2. El programa de mejora genética de llamas basado en un núcleo genético central conlleva a un mayor progreso genético que el programa de solo un estrato a nivel de pequeños criadores, sin embargo, requiere una mejor vinculación y organización con los criadores beneficiarios.
3. El programa de mejora genética de un núcleo genético central tiene la desventaja que la tasa de consanguinidad es más alta en comparación al programa de mejoramiento de una población con solo un estrato.

VI. RECOMENDACIONES

- 1.** Implementar la prueba de rendimiento para la selección de llamas macho K'ara a nivel de pequeños criadores en Pasco.
- 2.** Desarrollar la propuesta de implementación de un programa de mejoramiento genético para llamas K'ara, de forma participativa con los productores, autoridades locales y técnicos.
- 3.** Capacitar a técnicos y productores locales sobre la implementación de un programa de mejora genética utilizando metodologías participativas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abegaz, S., Sölkner, J., Gizaw, S., Dessie, T., Haile, A., Mirkena, T., Getachew, T., Wurzinger, M. 2014. Optimizing alternative schemes of community-based breeding programs for two Ethiopian goat breeds. *Acta Agraria Kaposváriensis* 18, Supplement 1, 47-55.

Calderón, D. 2019. Criterios de selección en llamas (lama glama) K'ara del sexo macho en la región pasco. Tesis de Maestría en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, - Perú. 9 p.

Camino, A. Sumar, J. 1992. The Andean Camelids, llama and alpaca- the Potentials and Prerequisites for introducing these animals into other mountain environments. *Mountain Farming Systems. Discussion Paper No. 33.* Nepal: ICIMOD.

Cardellino, R. 1994. Evaluación de carneros en centrales de prueba de progenie. En *Lana Noticias*. Secretariado Uruguayo de la Lana. pp. 7-10.

Cardellino, R., Rovira, J. 1988. Mejoramiento genético animal. Ediciones Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 253 p.

Cardozo, A. 2007. Camélidos. Cochabamba, Bolivia: La Violeta. 466 p.

Charfeddine, N. 2000. Economic aspects of defining breeding objectives in selection programmes. *CIHEAM - IAMZ, Options Méditerranéenes: Serie A*, 43:9-17.

Choque, F., Rodríguez, T. 1998. Determinación de parámetros genéticos en caracteres de producción de carne y fibra en llamas. VI Congreso Internacional de Especialistas en Camélidos Sudamericanos. Oruro, Bolivia. p 35.

Craig, D.C. 1996. Extensible Hierarchical Object-Oriented Logic Simulation with an Adaptable Graphical User Interface. MSc thesis, Memorial University of Newfoundland, USA, 197 pp.

Elzo, M. y Vergara, O. 2012. Modelación aplicada a las ciencias animales: II Evaluaciones genéticas. Primera Edición. Fondo Editorial Biogenes. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. pp 11-12.

Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C. 1996. Introducción a la Genética Cuantitativa. 4ª Edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 469 p.

Franco, M., Pezo, D., Gracia, W. y Franco, F. 2009. Manual de juzgamiento de alpacas y llamas. Soluciones prácticas. Lima-Perú.

FAO, 1982. Breeding plans for ruminant livestock in the tropics. FAO Animal Production and Health Paper 34, Rome, Italy.

<http://www.fao.org/3/X6536E/X6536E00.htm#TOC>

FAO, 2005. Situación Actual de los Camélidos Sudamericanos en Perú. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los camélidos Sudamericanos en la Región Andina. Roma – Italia.

FAO, 2010. Breeding strategies for sustainable management of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. No. 3. Rome, Italy.
<http://www.fao.org/docrep/012/i1103e/i1103e.pdf>.

Frank E. 1999. Mejoramiento genético en camélidos sudamericanos domésticos. Una propuesta para la población Argentina. Seminario Internacional de Camélidos Sudamericanos Domésticos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Córdoba, Argentina.

García, V.W., Leyva, V.V. 2007. Índices genéticos estimados para peso corporal en llamas. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 18(1), 11-17.
<https://doi.org/10.15381/rivep.v18i1.1269>.

Gizaw, S., Rischkowsky, B., Valle-Zárate, A., Haile, A., van Arendonk, J.A.M., Mwai, A.O., Dessie, T. 2014a. Breeding programs for smallholder sheep farming systems: I. Evaluation of alternative designs of breeding schemes, Journal of Animal Breeding and Genetics 131 (5), 341-349 [doi:10.1111/jbg.12101](https://doi.org/10.1111/jbg.12101).

Gizaw, S., Arendonk, J., Valle-Zárate, A., Haile, A., Rischkowsky, B., Dessie, T., Mwai, A.

2014b. Breeding programs for smallholder sheep farming systems: II. Optimization of cooperative village breeding schemes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 131(5): 350-357.

Gutiérrez, G., Mendoza, A., Wolfinger, B., Quina, E., Rodríguez, A., Mendoza, J., Tantahuilca, F., Wurzinger, M. 2012. Caracterización de la Crianza de Llamas de la Sierra Central del Perú. En: Resúmenes y Trabajos del VI Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos. Arica, Chile. pp. 178.

Haile, A., Wurzinger, M., Mueller, J., Mirkena, T., Duguma, G., Mwai, O., Sölkner, J., Rischkowsky, B. 2011. Guidelines for Setting up Community-based Sheep Breeding Programs in Ethiopia. ICARDA - Tools and Guidelines No.1. Aleppo, Syria, 45 p.

Harris, D.L. Stewart, T.S. y Arboleda, C.R. 1984. Animal breeding programs: A systematic approach to their design. USDA-ARS–Advances in Agricultural Technology AAT-NC-8.

Huanca, W. 2011. Los desafíos en el manejo reproductivo de los camélidos sudamericanos. XXII Reunión Latinoamérica de la producción animal, 24-26 de octubre, 2011, Montevideo, Uruguay.

ICAR, 2018. Section 3 - ICAR Guidelines for Beef Cattle Production Recording, Version March 2018. <https://www.icar.org/Guidelines/03-Beef-Cattle-Recording.pdf> , acceso: 14 de enero 2022.

Iglesias, G. M., Beker, M. P. 2020. Cría y Mejoramiento Genético Animal. Traducción al castellano. En Oldenbroek, K y van der Waaij, E. Textbook Animal Breeding and Genetics for BSc students. Centre for Genetic Resources. The Netherlands and Animal Breeding and Genomics Centre, 2015.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). 2012. IV Censo Nacional Agropecuario 2012.

INIA. 2006. Programa de mejoramiento genético de alpacas y llamas de la región Ayacucho, Perú. 182p. <http://www.inia.gob.pe/notas/nota0119/>.

Iñiguez, L. 1998. Community breeding programmes for small ruminants in the Andean region. In: Proceedings of sixth World Congress on Genetics Applied to Livestock

Production, Armidale, Australia, 11-16 Enero, 1998, vol. 25, 249-256 p.

James, J. 1977. Open nucleus breeding systems. *Animal production* 24: 287 - 305.

Jiménez, M y Jurado, J. 2005. Esquema de selección en la raza Assaf en León. *Información Técnica Económica Agraria*, Vol. 101 N° 2 (117-128).

Kadwell, M., Fernández, M., Stanley, H.F., Baldi, R., Wheeler, J.C., Rosadio, R., Bruford, M.W. 2001. Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268(1485): 2575-2584.

Leyva, V., y Falcón N. 2007. Evaluación de medidas corporales para la selección de llamas madres y crías. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*; 18 (1): 18-29.

Maquera, F. 1991. Características y persistencia fenotípica en llamas K'aras y lanudas del centro experimental La Raya - Puno. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 108 p.

María, A. 1997. Introduction to modeling and simulation. En: S. Andradottir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson (Eds.) *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, Georgia, USA.

Mendoza, A.C. 2014. Situación de la Crianza y Manejo Genético de Llamas en las Provincias de Pasco y Daniel Alcides Carrión en la Región Pasco. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 117 p.

Mendoza, J. 2013. Medidas corporales en la selección de llamas K'ara e Intermedio (Lama glama) de la Región de Pasco. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 74 p.

Ministerio de Agricultura 2011. Reglamento de los registros genealógicos de alpacas y llamas del Perú (RGALLP). Anexo II - Estándares de llamas de las razas K'ara y Chaqu. Decreto Supremo N° 022-2005-AG. Lima – Perú. 35 p.

Mirkena, T., Duguma, G., Willam, A., Wurzinger, M., Haile, A., Rischkowsky, B., Okeyo, A.M., Tibbo, M., Sölkner, J. 2012. Community-based alternative breeding plans for indigenous sheep breeds in four agro-ecological zones of Ethiopia. *Journal of Animal*

Breeding and Genetics 129, 244–253. doi:10.1111/j.1439-0388. 2011. 00970.x

Mueller, J. 1996. Objetivos de mejoramiento genético para rumiantes menores. Conferencia Veintinueve Reunión Anual Sociedad Genética de Chile y Séptimo Congreso Argentino de Genética, Viña del Mar, Chile. INTA EEA Bariloche Comunicación Técnica PA, 294. 8 p.

Mueller, J. 1998. Guía para la formación de un núcleo abierto de producción de ovinos. Comunicación Técnica INTA Bariloche-Argentina. N° PA 328. 7 p.

Mueller, J. 2003. Estrategias para el mejoramiento genético de pequeños rumiantes. In Conferencia invitada. En Memorias III Congreso de la Asociación Latinoamericana de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. ALEPRYCS, Viña del Mar, Chile 7–9 de mayo, p. 13-14.

Mueller, J. 2007. Estrategias para el mejoramiento de camélidos sudamericanos. I Simposium Internacional de Biotecnología Aplicada en Camélidos Sudamericanos. Huancavelica, Perú. Comunicación Técnica INTA Bariloche Argentina. N° PA 516. 9 p.

Mueller, J. 2013. Experiencias con estructuras genéticas para el mejoramiento de rumiantes menores en las zonas áridas. L.R. Iñiguez. La producción de rumiantes menores en las zonas Áridas de Latinoamérica. Editorial EMPRAPA, Brasilia. 497-513 p.

Mueller, J. y Giovannini, N. 2010. Economic evaluation of genetic improvement programs. Comunicación Técnica INTA Bariloche-Argentina N° PA 576. 9 p.

Mueller, J., Ansari-Renani, H., Momen, S; Ehsani, M., Alipour, O., Rischkowsky, B. 2015a. Implementation of a Cashmere goat breeding program amongst nomads in Southern Iran. Small Ruminant Research 129: 69-76.

Mueller, J., Rischkowsky, B., Haile, A., Philipsson, J., Mwai, O., Besbes, B., Valle Zárate, A., Tibbo, M., Mirkena, T., Duguma, G., Sölkner, J., Wurzinger, M. 2015b. Community based livestock breeding programs: Essentials and examples. Journal of Animal Breeding and Genetics 132 (2): 155–168. DOI: 10.1111/jbg.12136.

Olesen I., Groen A.F. y Gjerde B. 2010. Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. Journal Animal Science 78: 570-582.

Philipson, J., Rege, J., Zonabend, E. y Okeyo, A. 2011. Sustainable breeding programs for tropical farming systems in: Animal Genetics Training resource, version 3, 2011. Ojange, J.M. Magmfors, B. and Okeyo, M. (Eds). International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya, and Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. <http://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/3971/Module3.pdf>.

Quina, E. 2015. Diagnóstico de la crianza y caracterización fenotípica de las llamas K'ara (*Lama glama*) en Marcapomacocha, región Junín. Tesis de Maestría en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, - Perú. 118 p.

Quispe, E. 2010. Estimación del progreso genético de seis esquemas de selección en alpacas (*Vicugna pacos* L.). Huacaya con tres modelos de evaluación en la región altoandina de Huancavelica. Tesis del Doctorado Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. 140p.

Quispe, E. y Alfonso, L. 2007. Metodologías para estimar los valores de cría (VCE): Aplicaciones para el mejoramiento genético de alpacas. Universidad Nacional Huancavelica - Perú. 296 p.

Rodríguez, A.R., Gutiérrez Reynoso, G.A., Wurzinger, M. 2021. Caracterización de la crianza de llamas en Pasco, Perú. Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú 32(3): e18030

Shannon, R.E. 1998. Introduction to the art and science of simulation. En: D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan (Eds.). Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference., Washington D.C., USA. 7-14p.

Slatkin, M. 1987. Gene flow and the geographic structure of natural populations. Science 236(4803): 787-792.

Sölkner, J., Nakimbugwe, H. y Valle-Zárate, A. 1998. Analyses of determinants for success and failure of village breeding programmes. In: Proceedings of 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, Australia, 11-16 Enero 1998, vol. 25, 273-280 p.

Verde, O. 2010. Interacción genotipo x ambiente para peso a 548 días en bovinos de

carne. *Zootecnia Tropical* 28(4): 507-512.

Wurzinger, M., Delgado, J., Nürnberg, M., Valle Zárate, A., Stemmer, A., Ugarte, G., Sölkner, J. 2005. Growth curves and genetic parameters for growth traits in Bolivian llamas. *Livestock Production Science* 95 (1-2), 73–81.

Wurzinger, M., Willam, A., Delgado, J., Nürnberg, M., Valle Zarate, A., Stemmer, A., Ugarte, G., Sölkner, J. 2008. Design of a village breeding programme for a llama population in the High Andes of Bolivia. *Animal Breeding and Genetics* 125, 5: 311-319. DOI: 10.1111/j.1439-0388.2007.00713.x

Wurzinger M., Sölkner J., Iñiguez L. 2011. Important aspects and limitations in considering community-based breeding programs for low-input smallholder livestock systems. *Small Ruminant Research* 98, 170–175.

Wurzinger, M., Radolf, M., Gutiérrez, G. 2020. Livelihood and Production Strategies of Smallholder Livestock Keepers in the Central Peruvian Andes. Tropentag “Food and nutrition security and its resilience to global crises”, 9-11 Septiembre 2020, Witzenhausen, Alemania.

Zea, O. 2006. Evaluación de las medidas del área de la grupa y volumen del muslo y de la ubre para uso como indicadores genéticos en la selección temprana de llamas (*Lama glama*) para carne. Tesis de Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 110 p.