UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN CURVAS DE CRECIMIENTO EN LLAMAS (*Lama glama*) *KÁRAS* Y *CHACCUS* EN CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN NATURAL Y SUPLEMENTO Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. FACUNDO EMILIO MAQUERA LLANO

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN CURVAS DE CRECIMIENTO EN LLAMAS (*Lama glama*) *KÁRAS* Y *CHACCUS* EN CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN NATURAL Y SUPLEMENTO Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

Tesis sustentada y aprobada el 17 de abril del año 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : .....
Dr. Heber Melbin Cabrera Cruz

SECRETARIO : .....
Dr. Eleocadio Dionisio Tirado Paz

MIEMBRO : .....
Dr. César Julio Cáceda Quiroz

ASESOR : .....
Ph. D. Héctor Rodríguez Papuico

CONSTANCIA DE ASESOR

HACE CONSTAR

Qué, la Tesis Doctoral titulado"EVALUACION DE MODELOS MATEMATICOS EN CURVAS DE CRECIMIENTO EN LLAMAS(*Lama glama) KÁRAS Y CHACCUS EN CONDICIONES DE ALIMENTACION NATURAL Y SUPLEMENTO Y SU RELACION CON EL MEDIO AMBIENTE".*

Presentado por el egresado aspirante a Doctor en ciencias ambientales, Facundo Emilio Maquera llano, ha sido revisado, rastreado "Identificación de reporte de similitud: oid:23228:177962088" alcanzando 10% de similitud turnitin, subsanado las observaciones de mi asesorado, en mi condición de asesor se deja constancia que está para su evaluación y sustentación.

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para su cumplimiento los trámites pendientes que se estipula en la Escuela de Postgrado de UNJBG-

Lima 9 de Abril 2023

.....

Dr. Hector Rodriguez Papuico

Asesor de Tesis Doctoral

DEDICATORIA

A Mirian Rojas Cuéllar, mi compañera de vida, por su incondicional apoyo y acompañamiento a lo largo del doctorado. A mis hijos Solania, Leydi y Sebastián por su constante apoyo moral.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento por todo el desarrollo y la culminación de las distintas actividades realizadas en el marco del doctorado que se resumen en el presente trabajo de tesis, el cual fue posible gracias al desempeño y ayuda del Dr. Teodosio Huanca Mamani, del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Puno.

A mi asesor de tesis Héctor Rodríguez Papuico por su guía constante y consejos en cada paso del camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTO v
RESUMEN xii
ABSTRACT..... xiii
RESUMO.....xiv
INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 4
1.1.1. Antecedentes del problema 4
1.1.2. Problemática de la investigación.....5
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....7
1.2.1. Problema general.....7
1.2.2. Problemas específicos 7
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 7
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES 10
1.4.1. Alcances 10
1.4.2. Limitaciones.....10
1.5. OBJETIVOS 11
1.5.1. Objetivo general 11
1.5.2. Objetivos específicos 11
1.6. HIPÓTESIS.....11
1.6.1. Hipótesis general 11
1.6.2. Hipótesis específicas 12

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 13
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....13
2.1.1. Formas de medición del crecimiento 13
2.1.2. Evaluación del peso vivo (kg)..... 14
2.2. BASES TEÓRICAS..... 14

2.2.1. Crecimiento y desarrollo 16
2.2.2. Control hormonal del crecimiento y desarrollo 18
2.2.3. Ondas de crecimiento 19
2.2.4. Modelos biológicos 20
2.2.5. Curvas de crecimiento en animales 21
2.2.6. Modelos matemáticos y parámetros biológicos 22
2.2.7. Utilidad de las curvas de crecimiento 26
2.2.8. Aplicación de los modelos matemáticos en las curvas de crecimiento 27
2.2.9. Criterios de bondad de ajuste 27
2.2.10. Modelación no lineal en curva de crecimiento de especies 27
2.2.11. Factores ambientales que afectan el crecimiento 36
2.2.12. Factores que afectan el peso en el nacimiento 38
2.2.13. Suplementación alimenticia 41
2.2.14. Periodos críticos en la nutrición de los camélidos 41
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 43
2.3.1. Ambiente 43
2.3.2. Crecimiento 43
2.3.3. Curvas de crecimiento 43
2.3.4. Modelo matemático 44

CAPÍTULO III: MARCO FILOSÓFICO 45
3.1. FILOSOFÍA Y EPISTEMOLOGÍA 45
3.2. MODELACIÓN ESTADÍSTICO-MATEMÁTICA EN PROCESOS AGRARIOS 46

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO 48
4.1. MARCO METODOLÓGICO 48
4.2. UBICACIÓN DEL TRABAJO 48
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO 48
4.4. VEGETACIÓN NATURAL 49
4.5. POBLACIÓN DEL ESTUDIO 49

4.6. METODOLOGÍA 50
4.6.1. Aplicación de aminoácidos por vía intramuscular 50
4.6.2. Pesaje de los animales 50
4.6.3. Material de observación y medición 50
4.7. SISTEMA DE REGISTROS 51
4.7.1. Para los objetivos 1 y 2 51
4.8. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS 52

CAPÍTULO V: RESULTADOS 56
5.1. EVALUACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO EN LLAMAS *K'ARA Y CH'ACCU* 56
5.2. MODELO DE AJUSTE PARA MACHOS Y HEMBRAS 60
5.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS SEGÚN EL SEXO 65
5.4. EVALUACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO EN LLAMAS CON ALIMENTACIÓN NATURAL Y SUPLEMENTO 66
5.4.1. Suplementación 66
5.5. EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RAZA, SEXO, EDAD DE LA MADRE Y ÉPOCA DEL PARTO 70
5.5.1. Factor raza 70
5.5.2. Factor sexo 71
5.5.3. Factor edad de la madre 72
5.5.4. Factor época del parto 73

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN 74
6.1. BONDAD DE AJUSTE PARA MODELOS EN LLAMAS *K'ARA Y CH'ACCU* 74
6.2. AJUSTE A LAS CURVAS DE CRECIMIENTO 75
6.3. RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES DE RAZA, SEXO, EDAD DE LA MADRE Y ÉPOCA DEL PARTO CON EL NACIMIENTO, DESTETE Y EL PRIMER AÑO DE EDAD 79
6.3.1. Factor raza 79
6.3.2. Factor sexo 79

6.3.3. Factor edad de la madre 80
6.3.4. Factor época del parto 81
6.4. SUPLEMENTACIÓN 82
CONCLUSIONES 84
RECOMENDACIONES 85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evolución del crecimiento ponderal 16
Tabla 2 Factores que afectan el crecimiento en las etapas prenatal, predestete y postnatal 37
Tabla 3 Distribución de animales para describir las curvas de crecimiento de llamas *k'ara* y *ch'accu* con alimentación natural y suplemento reconstituyente 50
Tabla 4 Ecuaciones de los modelos no lineales utilizados para describir la curva de crecimiento de llamas *k'ara* y *ch'accu* 52
Tabla 5 Parámetros para la elección del mejor modelo de ajuste del peso en crías de llamas *k'ara* y *ch'accu* 57
Tabla 6 Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en llamas *k'ara* y *ch'accu* 59
Tabla 7 Parámetros para la elección del mejor modelo de ajuste del peso en crías de llamas machos y hembras 62
Tabla 8 Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en crías de llamas machos y hembras 65
Tabla 9 Parámetros de ajuste de los modelos no lineales en llamas en condiciones de suplementación (experimental) y llamas con alimentación natural (testigo) . 67
Tabla 10 Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en llamas en condiciones de suplementación (experimental) y llamas con alimentación natural (testigo) 68
Tabla 11 Promedios alcanzados por las crías según la raza de las llamas 71
Tabla 12 Promedios del peso vivo (kg) en el nacimiento según el sexo de las llamas . 71
Tabla 13 Promedios del peso vivo (kg) en el nacimiento según las edades de las llamas madres 72
Tabla 14 Peso promedio (kg) en llamas con alimentación natural y suplementación... 73
Tabla 15 Promedio del peso vivo (kg) en comparación con el mes de nacimiento, destete y año 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curvas de crecimiento en llamas *k'ara* desde el nacimiento hasta el primer año de edad 59
Figura 2 Curvas de crecimiento en llamas *ch'accu* desde el nacimiento hasta el primer año de edad 60
Figura 3 Curvas de crecimiento en llamas machos desde el nacimiento hasta el primer año de edad 63
Figura 4 Curvas de crecimiento en llamas hembras desde nacimiento hasta el primer año de edad 64
Figura 5 Curvas de crecimiento en llamas con suplementación 69
Figura 6 Curvas de crecimiento en llamas sin suplementación 69

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la curva de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* mediante el modelo matemático en diferentes condiciones medioambientales de alimentación, desde el nacimiento hasta el primer año de edad en una muestra 212 llamas. Para el ajuste de curvas de crecimiento se utilizaron funciones no lineales: Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico, realizadas en el centro experimental Quimsachata del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Puno. Para el ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento NLIN de SAS. Según criterios de información estadística de evaluación fueron: Coeficiente determinación (R^2), cuadrado medio de error (CME), criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Los modelos matemáticos proporcionaron una buena calidad de ajuste a datos de peso vivo kg-, para ambas razas y sexos. Los modelos Brody y Von Bertalanffy mostró mejor capacidad de ajuste frente a otros modelos Logistico y Gompertz. En los parámetros de interpretación biológica se evidenció que las llamas k´ara tuvieron estimativa de peso asintótico (A) mayor en comparación a raza ch´accu; según estimativa de precosidad (k), los modelos Brody y Von Bertalanffy reflejaron menores valores frente a otros modelos. Las llamas k´ara tuvieron ligera precosidad que las llamas ch´accu. En análisis de crecimiento entre sexos se evidenció mejor ajuste modelo Brody y Von Berftalanffy para ambos sexos, indicando que los machos alcanzan la madurez en edades más precoces que las hembras. En llamas en condiciones de suplementación reconstituyente, los modelos Brody y Von Bertalanffy tuvieron mejor capacidad de ajuste, y sus parámetros biológicos reflejaron, peso asintótico (A) mayor, evidencia de una mayor precocidad en llamas suplementadas con respecto a las no suplementados. Los resultados fueron significativos ($p<0.05$) para efecto para raza, edad de la madre, suplementación reconstituyente; aunque efecto dimorfismo sexual pareciera tardío.

Palabras clave: Crecimiento, modelo matemático, llamas, medioambiente.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the growth curve in k'ara and ch'accu llamas using the mathematical model in different environmental feeding conditions, from birth to the first year of age in a sample of 212 llamas. For the adjustment of growth curves, non-linear functions were used: Brody, Von Bertalanffy, Gompertz and Logístico, carried out in the Quimsachata experimental center of the National Institute of Agrarian Research (INIA), Puno. For the adjustment of the models, the NLIN procedure of SAS was used. According to the evaluation statistical information criteria, they were: determination coefficient (R^2), error mean square (CME), Akaike information criterion (AIC) and Bayesian (BIC). The mathematical models provided a good quality of fit to weighted data. live kg-, for both races and sexes. The Brody and Von Bertalanffy models showed better adjustability compared to other Logistico and Gompertz models. In the biological interpretation parameters, it was evidenced that the k'ara llamas had a higher asymptotic weight estimate (A) compared to the ch'accu breed; According to the precocity estimate (k), the Brody and Von Bertalanffy models reflected lower values compared to other models. The k'aras llamas were slightly earlier than the ch'accu llamas. In the analysis of growth between sexes, a better adjustment of the Brody and Von Berftalanffy model was evidenced for both sexes, indicating that males reach maturity at earlier ages than females. In llamas under restorative supplementation conditions, the Brody and Von Bertalanffy models had a better adjustment capacity, and their biological parameters reflected, greater asymptotic weight (A), evidence of greater earliness in supplemented llamas compared to non-supplemented ones. The results were significant ($p < 0,05$) for the effect for race, age of the mother, restorative supplementation; although the sexual dimorphism effect seems late.

Keywords: growth, mathematical model, flames, environment.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a curva de crescimento em k'ara e ch'accu lhamas usando o modelo matemático em diferentes condições ambientais de alimentação, desde o nascimento até o primeiro ano de idade em uma amostra de 212 lhamas. Para o ajuste das curvas de crescimento foram utilizadas funções não lineares: Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico, realizadas no centro experimental Quimsachata do Instituto Nacional de Pesquisa Agrária (INIA), Puno. Para o ajuste dos modelos, foi utilizado o procedimento NLIN do SAS. De acordo com os critérios de informação estatística de avaliação, foram eles: coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (CME), critério de informação de Akaike (AIC) e bayesiano (BIC).Os modelos matemáticos proporcionaram uma boa qualidade de ajuste aos dados ponderados. kg-, para ambas as raças e sexos. Os modelos Brody e Von Bertalanffy apresentaram melhor ajustabilidade em comparação com outros modelos Logistico e Gompertz. Nos parâmetros de interpretação biológica, evidenciou-se que as lhamas k'ara tiveram uma estimativa de peso assintótica (A) maior em relação à raça ch'accu; De acordo com a estimativa de precocidade (k), os modelos Brody e Von Bertalanffy refletiram valores menores em comparação com outros modelos. Os lhamas k'aras eram ligeiramente anteriores aos lhamas ch'accu. Na análise do crescimento entre os sexos, foi evidenciado um melhor ajuste do modelo de Brody e Von Berftalanffy para ambos os sexos, indicando que os machos atingem a maturidade em idades mais precoces que as fêmeas. Em lhamas sob condições de suplementação restauradora, os modelos de Brody e Von Bertalanffy tiveram melhor capacidade de ajuste, e seus parâmetros biológicos refletiram, maior peso assintótico (A), evidência de maior precocidade em lhamas suplementadas em comparação com as não suplementadas. Os resultados foram significativos ($p < 0,05$) para o efeito de raça, idade da mãe, suplementação restauradora; embora o efeito do dimorfismo sexual pareça tardio.

Palavras-chave: crescimento, modelo matemático, chamas, ambiente.

INTRODUCCIÓN

Se estima que en el Perú habitan más de 4 millones de camélidos sudamericanos, de los cuales la población de llamas es de 746 287, donde la mayoría de estas se encuentran en las regiones de Puno (41,58 %), Cusco (13,74 %) y Arequipa (12,16 %), según el INEI (2012). Las llamas y alpacas constituyen especies importantes ámbito social y económico en el Perú, donde más de 2,9 millones de habitantes andinos están relacionados con esta actividad (Brenes *et al.*, 2001).

En las regiones de la sierra, puna húmeda y seca, en donde no prosperan otras especies domésticas, la llama ocupa un lugar importante en la sobrevivencia, y por su capacidad de adaptación y tolerancia a temperaturas bajas, su resistencia a la escasez de alimentos nutricionales y enfermedades parasitarias. A pesar de ello, sigue siendo una especie orientada a la producción de carne y fibra.

Los cambios evolutivos en el peso vivo en función al tiempo es decir, la edad pueden ser explicados en términos de velocidad de crecimiento, tasa de crecimiento; además, es necesario comprender e interpretar que el crecimiento animal es un sistema biológico complejo. Por ello, se han convertido en estudios atractivos en las últimas décadas para mejorar la productividad. El análisis científico de curva de crecimiento sigmoidal requiere modelos matemáticos que funcionen con datos empíricos obtenidos durante los periodos de crecimiento animal.

En la actualidad se comercializa más carne y fibra de las llamas debido a una demanda creciente. Estas características productivas constituyen el ingreso económico del poblador andino para su sobrevivencia, faltando una orientación a escala mayor para un mercado comercial significativo. Este problema ocurre porque las llamas son manejadas y producidas en pequeños sistemas de producción y con productores de bajos ingresos, enfrentando las secuelas de la marginación (Quispe, *et al.*, 2009).

Se entiende por crecimiento al aumento de peso experimentado por los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad adulta; y por desarrollo a las modificaciones que experimentan las proporciones, conformación, composición química corporal y funciones fisiológicas del animal a medida que avanza la edad (Hammond, 1960).

El crecimiento corporal es un proceso que requiere de dos factores fundamentales: Carga genética (ADN) y alimentación, en donde la primera aporta la información de la especie y del individuo, se transmite desde los padres; mientras que la segunda aporta los nutrientes requeridos para el óptimo desarrollo. El crecimiento es, por lo tanto, un proceso multifactorial y complejo que comprende fenómenos de aumento de tamaño (hipertrofia) y cantidad (hiperplasia) de los tejidos (Álvarez *et al.*, 2009). En base a estas definiciones es necesario comprender que el crecimiento es multifactorial y requiere su interpretación en conjunto.

La orientación productiva de las llamas fue definida para la producción de carne, y ese es el motivo de su crianza (Gutiérrez y Wurzinger, 2013), o asumiendo criterios como el peso de su carcasa (Robles *et al.*, 2020), la calidad de la carne, características del cuerpo y carcasa (Mamani-Linares *et al.*, 2014); así como, desde la caracterización morfológica y la construcción de índices corporales (Quispe *et al.*, 2015). Todas estas evidencias contribuyen a esta definición de la actividad cárnica que, a pesar de sus cualidades nutricionales, está orientada y relegada a estratos sociales de menos recursos económicos.

Por estas consideraciones se ha ejecutado el presente estudio con la finalidad de proporcionar contribuciones al conocimiento sobre el crecimiento y desarrollo del peso corporal de las llamas, siendo los objetivos: a) Evaluar modelos matemáticos no lineales con capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* de ambos sexos mediante modelos matemáticos según las variables de peso vivo (kg) y edad (nacimiento - 1 año) en condiciones de alimentación natural. b) Identificar modelos matemáticos en la curva de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* de ambos sexos mediante modelos matemáticos según las variables de peso vivo (kg) y edad

(nacimiento - 1año) en condiciones de suplementación reconstituyentes. c) Evaluar los efectos ambientales inherentes al animal, tales como sexo de la cría, raza, edad y época del parto de la madre en el crecimiento de las llamas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

La llama es un camélido doméstico que tuvo su importancia en la época incaica por el empleo de sus excrementos como abono para los cultivos agrícolas y por ser un animal para carga; utilidad que se expandió por las poblaciones andinas contemporáneas.

Los criadores en las zonas altoandinas, que solamente tienen el único ingreso económico por la venta de carne y fibra de camélidos (alpacas y llamas), afrontan problemas en el mejoramiento de la productividad y producción. Es necesario promover la crianza de este recurso a fin de aprovechar y mejorar según el avance de la tecnología actual similares en otras especies domésticas.

El crecimiento evolutivo de la vida de los animales se ha estudiado teniendo en cuenta la relación edad-peso. En los últimos años, los estudios han hecho uso de los modelos no lineales, generándose diferentes modelos de crecimiento en los animales, los cuales son una herramienta de importancia. Los modelos han sido evaluados según su bondad de ajuste, la interpretación biológica de los parámetros, la dificultad de aplicación informática y la evaluación de los parámetros ambientales sobre la curva de crecimiento (Brown *et al.*, 1976).

Los modelos matemáticos no lineales que se ajustan a las curvas de crecimiento de los animales permiten predecir, describir evolución de peso en las primeras etapas de su vida. Además, mediante la curva de crecimiento individual se podrían realizar

evaluaciones adecuadas del curso del crecimiento y de la madurez temprana de estos animales.

Es importante indicar que es diversificada la utilización de funciones matemáticas o lineales para la evaluación de capacidad de ajuste y el hecho de contar con un patrón de crecimiento en los animales. Su uso está orientado a fines predictivos, ya que estas herramientas permiten calcular características importantes, tales como tasa de crecimiento, tasa de maduración y el tamaño a la madurez; información útil para la evaluación de los animales en programas de mejoramiento y manejo.

Los modelos matemáticos tratan de predecir el peso adulto o el grado de madurez sin necesidad de realizar excesivas mediciones durante la vida del animal o esperar a que el animal alcance su madurez para tomar decisiones relacionadas con la producción. En tal sentido, su uso se ha generalizado gracias a las buenas capacidades predictivas (Agudelo, *et al.*, 2008).

Por lo tanto, sin caracterización de las curvas de crecimiento y de parámetros productivos se limita la implementación de programas de mejoramiento animal que permiten aumentar la productividad como lo son la velocidad de crecimiento, la tasa de madurez a diferentes edades y la edad en el sacrificio. Por ello, es necesario realizar más trabajos que permitan identificar las funciones matemáticas que mejor se ajustan a las condiciones locales (Agudelo, *et al.*, 2008).

Al respecto, en alpacas y llamas se tienen escasos trabajos de investigación relacionados a caracterizar las curvas de crecimiento, donde es necesario evaluar estos patrones de crecimiento.

1.1.2. Problemática de la investigación

Se sabe que la producción y rendimiento de los animales que se explotan comercialmente es afectada por factores ambientales y genéticos. En un sentido más amplio, el factor ambiental es de suma importancia y el que más se destaca entre todas

las condiciones externas y circunstancias que afectan la salud, el bienestar, la productividad y la eficiencia reproductiva de un animal.

Además, ciertos factores específicos como el manejo, la nutrición, aspectos sociales y las enfermedades. Incluye, también, factores climáticos como temperatura, humedad y ventilación, los que deben ser manejados apropiadamente para obtener una buena eficiencia de producción (Echevarría y Miazzo, 2002).

Asimismo, el ambiente afecta el grado de expresión del potencial genético de un animal. Los factores que componen el ambiente pueden considerase como factores físicos, los cuales se refieren a aspectos como espacio, luz, sonido, presión e instalaciones en general; factores sociales, o sea, el tamaño de grupos, órdenes de dominancia y otros aspectos del comportamiento animal; factores termales, los cuales se refieren a las temperaturas del aire, humedad relativa, corrientes de aire, radiación, etc. (Echevarría y Miazzo, 2002).

El desconocimiento de las curvas de crecimiento y de parámetros productivos de interés económico y la influencia de parámetros ambientales ha limitado la implementación de programas de mejoramiento, tales como la caracterización de razas de llamas con tendencia a la producción de carne, mediante procesos de evaluación de velocidad de crecimiento, así como la tasa de madurez en diferentes edades y la edad en el sacrificio en llamas con aptitud cárnica (Apaza y Quispe, 2016).

En alpacas y llamas se tienen escasos trabajos de investigación relacionados a caracterizar curvas de crecimiento; por lo tanto, es necesario evaluar patrones de crecimiento según la zona ecológica donde habitan, identificar la capacidad de ajuste de los modelos lineales mixtos o modelos no lineales en función a la edad y el peso vivo. Los hechos anteriores fueron realizados en alpacas a través del estudio de la curva de crecimiento en crías que se ajustaron al modelo matemático de Brody y Gompertz.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Qué modelos matemáticos no lineales se ajustan a las curvas de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* en condiciones de alimentación natural o suplemento y su relación con el medioambiente?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿Qué modelos matemáticos no lineales, tales como Brody, se ajustan en curvas de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* en condiciones de alimentación natural?

b) ¿Qué modelos matemáticos no lineales, tales como Brody, se ajustan en curvas de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* en condiciones de suplementación reconstituyente?

c) ¿Las condiciones ambientales inherentes al animal, tales como el sexo de las crías, raza, edad de la madre y la época del parto, afectarán el crecimiento?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En las llamas se han identificado dos razas: La *k'ara* posee una tendencia a la producción de carne; y la *ch'accu*, a la producción de fibra. Aún falta definir estas diferencias a través de la caracterización de velocidad de crecimiento, desarrollo, precocidad y estructura corporal (*frame*). Además, se tienen escasos trabajos de investigación sobre caracterización de potencialidades productivas de estas dos razas de llamas que aparentemente son diferentes (Wheeler, 1995).

Es necesario realizar trabajos que permitan identificar las funciones matemáticas que mejor se ajusten a las condiciones locales y a los efectos ambientales que influyen sobre el crecimiento.

Según los conceptos del aumento de masa corporal de un animal que transcurre en una secuencia temporal: Prenatal, postnatal hasta el destete, destete hasta la pubertad y pubertad hasta la madurez, donde cada fase presenta una diferente velocidad o tasa de crecimiento. El análisis de esas tasas es de interés para investigadores y productores, porque nos indica cuáles son las necesidades nutricionales y ambientales de los animales en cada una de estas; además, permite evaluar la eficiencia del crecimiento animal y provee información para elaborar programas de mejoramiento genético (Da Silva *et al.*, 2004).

El aporte o contribución es establecer un modelo matemático que mejor se ajuste a condiciones locales, curva de crecimiento estándar que explique la velocidad de crecimiento en llamas y, con ello, demostrar las características diferenciales entre estas dos razas de llamas en diferentes condiciones medioambientales. Asimismo, conociendo su valor teórico es que los modelos matemáticos son usuales para caracterizar las curvas de crecimiento en diferentes especies, tal como debe de ser en los camélidos sudamericanos.

Se han realizado trabajos preliminares, pero aún faltan realizar más trabajos sobre caracterización, medición y evaluación del crecimiento y de parámetros productivos de interés económico. Esta carencia representa una limitante para la implementación de programas de mejoramiento genético animal; que permitan aumentar la productividad a través de estudios, considerando la tasa de madurez en diferentes edades y la edad en el sacrificio, tamaño y peso del animal con relación a la madurez sexual.

Del mismo modo, que nos permita responder la siguiente interrogante: ¿Cuál es el momento óptimo de incremento de peso alcanzado y con qué cantidad de alimento y a qué costo? Estos parámetros solo se conocen una vez cuando el animal ha completado su crecimiento. Además, conocer esta información nos permitirá realizar programas de alimentación, capacidad de carga y medición de los cambios genéticos de una generación a otra y que estén relacionados con el nivel de producción (Agudelo *et al.*, 2008).

El modelaje matemático es importante y de impacto socioeconómico en las evaluaciones del crecimiento. Además, constituye una herramienta indispensable en la creación de sistemas de soporte computarizados para la toma de decisiones, facilitando a los productores y profesionales del sector generar políticas de manejo dentro de un sistema productivo; y a los investigadores aplicar un método para sintetizar el conocimiento científico. Por ello, es importante enfatizar en concebir el modelaje como un elemento final del método científico (France y Kebreab, 2008; Tedeschi, 2006).

En vista de que se tienen escasos trabajos de investigación relacionados al crecimiento, sobre todo en la caracterización de razas y en la elaboración de bases de información acerca de su comportamiento en diferentes entornos ambientales para determinar, posteriormente, criterios de selección y programas de mejoramiento genético, ya sea en producción de carne o fibra.

Así mismo, los resultados de las funciones de crecimiento corporal ayudarán a establecer programas de alimentación según sus requerimientos corporales, edad, raza y sexo, en diferentes condiciones ambientales.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. Alcances

La investigación abarca a las llamas *k'ara* y *ch'accu* en diferentes condiciones medioambientales de alimentación de la región de Puno.

La investigación comprende factores matemáticos y medioambientales de las poblaciones de animales de la zona investigada.

1.4.2. Limitaciones

La presente investigación ha tenido algunas limitaciones como:

- *Área geográfica*: La necesidad de realizar la investigación en animales registrados en un centro experimental de Puno, ya que la región de Tacna no cuenta con un centro experimental.

- *Época o periodo*: Limitaciones debido a las temporadas de lluvias que impidieron el acceso.

- *Financiamiento*: Limitaciones en el financiamiento por parte de las entidades públicas.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Evaluar los modelos matemáticos no lineales con capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* en condiciones de alimentación natural y suplementación con reconstituyente y efecto de factores inherentes al animal, tales como raza, sexo, edad de la madre y época del parto.

1.5.2. Objetivos específicos

a) Identificar los modelos matemáticos con capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* de ambos sexos, según las variables de peso vivo (kg) y edad (nacimiento - 1 año) en condiciones de alimentación natural.

b) Identificar los modelos matemáticos con capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas *k'ara* y *ch'accu* de ambos sexos, según las variables de peso vivo (kg) y edad (nacimiento – 1 año) en condiciones de suplementación de reconstituyentes.

c) Evaluar las condiciones ambientales inherentes al animal, tales como el sexo de las crías, raza, edad de la madre y la época del parto, que afectan al crecimiento de las llamas.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Los modelos matemáticos tienen capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas en condiciones de alimentación natural o suplemento y su relación con el medioambiente.

1.6.2. Hipótesis específicas

a) Los modelos matemáticos tienen capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas en condiciones de alimentación natural.

b) Los modelos matemáticos tienen capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas en condiciones de suplementación de reconstituyentes.

c) Las condiciones ambientales inherentes al animal, tales como el sexo de las crías, raza, edad de la madre y la época del parto, afectan al crecimiento de las llamas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. Formas de medición del crecimiento

Desde hace muchos años, la medida del peso vivo en los animales ha sido la técnica más usual para realizar evaluaciones del crecimiento, pero este método de medición puede estar sometido a diversos errores como es el llenado del tracto gastrointestinal, en especial en los rumiantes. Asimismo, un animal puede aumentar de peso por acumulación de grasa.

Otra forma de medir el crecimiento consiste en la faena seriada para determinar la composición corporal a lo largo de la curva de crecimiento. Este es el mejor método, pero también es el más costoso debido al número de animales necesarios y el tiempo demandado (Dañobeytia *et al.*, 2015).

También es posible evaluar el crecimiento a través del uso de marcadores radioactivos y poder estimar el contenido de agua en los vacunos debido a la relación inversa entre contenido de agua y contenido de grasa. Por ello, se puede determinar el porcentaje de esta última; por lo tanto, los resultados tienen validez para las condiciones experimentales (Dañobeytia *et al.*, 2015).

Aún el método más usual es la medición del peso corporal. En este sentido, el crecimiento puede definirse a través de la curva de crecimiento total o de ganancia acumulativa de peso, es decir, el aumento de peso por unidad de tiempo y el porcentaje de aumento de peso por unidad de tiempo o ganancia relativa de peso (Bavera *et al.*, 2005).

En el ganado vacuno el peso al nacimiento y el peso al destete son dos mediciones claves en las primeras etapas de crecimiento de los terneros, ya que estas variables están asociadas positivamente. Y por tanto, se incluyen como criterios de selección en los programas de evaluación en mejoramiento genético para las razas Hereford y Angus que se vienen llevando a cabo desde principios de los 90 en Uruguay (Aguilar, 2010).

2.1.2. Evaluación del peso vivo (kg)

En las últimas décadas han tomado impulso los métodos de evaluación en base a pesajes individuales según las edades: Control del peso al nacer, al destete, al año, a los 18 meses, entre otros. El peso es la variable más simple y más usada para cuantificar el crecimiento de los animales. El pesaje se practica mediante balanzas o básculas que arrojan un resultado en kg por animal y por lotes (Echevarría y Miazzo, 2002).

2.2. BASES TEÓRICAS

Determinación del crecimiento

Existen varias formas para medir el crecimiento.

- *Crecimiento ponderal*: Consisten en hacer mediciones del aumento del peso y talla del organismo en función al tiempo (edad). Es el resultado del aumento de los diferentes aspectos corporales. Se analiza mediante la curva sigmoidea de crecimiento, con la siguiente fórmula:

$$P = f(t)$$

Donde:
P = peso vivo
t = tiempo (edad)

- *Velocidad de crecimiento*: Es normalmente denominado como “ganancia de peso promedio diaria (GMD)”, e indica el incremento de peso en un intervalo de tiempo dado. La velocidad de crecimiento tiene diferentes fases del crecimiento ponderal. De esta manera, la primera fase consiste desde el nacimiento hasta la pubertad, para luego seguir con la fase de la aceleración del crecimiento hasta llegar al punto de inflexión que coincide con la pubertad cuando la velocidad de crecimiento es máxima, para posteriormente continuar a una fase retardada hasta la madurez en que la velocidad de crecimiento disminuye progresivamente.

- *Tasa de crecimiento o porcentaje de aumento de peso por unidad de tiempo o ganancia relativa de peso*: Indica la velocidad de crecimiento en relación al peso vivo, siendo útil para comparar el crecimiento de animales con un distinto peso corporal. Es importante cuando se comparan poblaciones de diferentes tamaños. La fórmula para el porcentaje de crecimiento es la siguiente:

$$\text{Porcentaje de crecimiento} = Pf - Pi \,/\, Pi \times 100$$

Donde:
Pf = peso final
Pi = peso inicial

Tabla 1

Evolución del crecimiento ponderal

Meses	Crecimiento ponderal (kg)	Velocidad de crecimiento (dP/dt)	Tasa de crecimiento (dP/Pdt) (g/j/kg)
6	170	940	5,5
12	360	1060	2,9
18	530	860	1,6
24	660	570	0,9
30	740	340	0,5
36	790	200	0,3

Nota. Reproducida de "*Producción Animal e Higiene Veterinaria. Licenciatura de Veterinaria*", por M. Sánchez, J. Martínez, y A. Garzón, 2010, *Departamento de Producción Animal*. Disponible en: *https://studylib.es/doc/8152631/buxadé--c.--coord.---1996.-zootecnia.-bases-de-producción*. Es de dominio público.

2.2.1. Crecimiento y desarrollo

Según Berlanga *et al.* (1995), consideran que el crecimiento tiene dos fases: El primero es medido como el aumento de masa (peso) por unidad de tiempo y es cuantitativo; el segundo se refiere a los cambios en forma y composición que resultan de un crecimiento diferencial de las partes o componentes del organismo animal, es cualitativo y cuantitativo.

Según las definiciones adoptadas por Hammond (1960), se entiende por crecimiento al aumento de peso de los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad adulta; y por desarrollo a las modificaciones que experimentan las proporciones, conformación, composición química corporal y funciones fisiológicas del animal según avanza su edad. Pueden suceder ambos fenómenos simultáneamente y es posible que un animal se desarrolle (aumente su largo y alto) sin experimentar alteraciones en su peso (crecimiento) o que una especie adulta (que ha terminado su desarrollo) aumente su peso por engorde (crecimiento).

Es necesario comprender las afirmaciones de muchos autores citados por Posada *et al.* (2011), que el aumento de masa corporal durante el crecimiento animal ocurre en una secuencia temporal: Desde prenatal, postnatal hasta el destete, destete hasta la pubertad y pubertad hasta la madurez, donde cada fase presenta diferente velocidad o tasa de crecimiento. El análisis de cada una de las fases es de interés, porque indica y facilita saber cuáles son las necesidades nutricionales y ambientales de los animales en cada fase; además, permite evaluar la eficiencia del crecimiento animal y provee información para elaborar programas de mejoramiento genético (Posada *et al.*, 2011).

Según Bistolfi *et al.* (2014), el crecimiento en la fase postnatal puede ser representado por una curva sigmoidea: Primero se produce un crecimiento lento al inicio; seguido de un crecimiento acelerado hasta la pubertad, apoyado por el efecto de las hormonas sexuales para seguidamente, reducir el índice de crecimiento hasta alcanzar el grado de madurez somática o detención del crecimiento.

El incremento del peso corporal y la altura u otra medida de tamaño del esqueleto están compuestos por la suma de los incrementos de peso de los componentes individuales que constituyen el cuerpo, tales como nutrientes, agua, grasa, proteínas, carbohidratos y minerales. Las necesidades de nutrientes por parte de los animales que están creciendo cambian durante todo el periodo de crecimiento en respuesta directa a los cambiantes requerimientos de los órganos individuales; por eso, el crecimiento se expresa como el incremento en peso absoluto durante un periodo determinado o como el aumento en peso relativo (Posada *et al.*, 2011).

La evolución del aumento de peso vivo a lo largo de la vida de un animal es un fenómeno complejo que depende del genotipo del animal y de factores ambientales como la alimentación, el manejo, el estado de salud y efectos climatológicos, los cuales tienen un mayor impacto en las épocas iniciales del crecimiento animal (Hammond, 1960).

Asimismo, el mencionado autor especifica que los diferentes órganos, tejidos y piezas anatómicas del animal no tienen la misma velocidad de crecimiento en un

momento dado. Cada uno va adquiriendo una velocidad de crecimiento característica según la edad y en un orden definido.

Los nutrientes absorbidos durante la digestión no se distribuyen uniformemente en los diferentes tejidos u órganos del cuerpo, sino que se reparten siguiendo un régimen de estrictas prioridades. El orden en que los distintos tejidos alcanzan su máxima velocidad de crecimiento es nervioso, óseo, muscular y graso. Si se restringe la alimentación dejará de crecer el tejido graso; si se aumenta la restricción no solo no habrá crecimiento adiposo, sino que también se cataboliza el tejido muscular y así sucesivamente (Hammond, 1960).

2.2.2. Control hormonal del crecimiento y desarrollo

Las curvas de crecimiento reflejan la relación a lo largo de la vida entre impulsos inherentes de los individuos a crecer y madurar en todas las partes del cuerpo y el ambiente donde se expresan estos impulsos (Azor *et al.*, 2005). Asimismo, Berlanga *et al.* (1995), afirma que un gran número de factores endógenos y exógenos influencian en la forma en que las células y los tejidos crecen y se desarrollan; y no deben de analizarse en forma aislada, ya que el crecimiento es un proceso muy complejo, donde el factor hormonal juega un rol importante regulando estos procesos en el crecimiento de los animales.

El crecimiento somático está regulado de forma endocrina mediante el eje hipotalámico-hipofisiario a través de la hormona del crecimiento o somatotropina (GH), que interacciona con distintas hormonas y otros factores de carácter genético, nutricionales, metabólicos y medioambientales (Álvarez *et al.*, 2009).

Según los reportes de Berlanga *et al.* (1995), estos indican que la hormona de crecimiento cumple funciones tanto catabólicas como anabólicas en el cuerpo del animal. Como agente anabólico cumple un rol vital controlando la partición de

nutrientes en el proceso de crecimiento y lactación. Contrariamente puede ser lipolítica y diabetogénica y, por lo tanto, claramente catabólica en su función. Sin embargo, la función más importante es su influencia en la formación de proteínas y ácidos nucleicos (Álvarez *et al.*, 2009). Además, es necesario comprender a las otras hormonas que intervienen en este proceso biológico.

La insulina es la hormona anabólica por excelencia, que regula la unión de otras hormonas con sus receptores; por ejemplo, actúan a nivel de los receptores hepáticos de la hormona de crecimiento. Esta hormona tiene fuertes propiedades lipogénicas y, por ende, afecta a la composición corporal (Álvarez *et al.*, 2009).

Las glándulas adrenales, que secretan glucocorticoides y que son catabólicos en su acción, actúan inhibiendo el crecimiento en determinados tejidos blancos, pero no siempre actúan disminuyendo el crecimiento, ya que altas concentraciones de glucocorticoides pueden tener un marcado efecto en la conformación corporal, pudiendo ser fuertemente lipogénica en ciertas especies, especialmente en los bovinos (Berlanga *et al.*, 1995).

2.2.3. Ondas de crecimiento

Después del nacimiento, el desarrollo del esqueleto está adelantado en comparación a otros tejidos como los músculos. Por su parte, los músculos crecen en relación con el peso del cuerpo. Durante este crecimiento siempre existe alguna acumulación de grasa que va siendo cada vez mayor según se aproxima la madurez. Los órganos de vital importancia fisiológica están mejor desarrollados para el nacimiento que aquellos que tienen menor importancia hasta un tiempo después del nacimiento (Hammond, 1960).

La onda axial, considerada como primera, arranca del cerebro y sigue dos direcciones: Hacia adelante, encargándose del aumento del tamaño de la cara; y hacia atrás, produciendo el desarrollo en largo del animal. Así, continuando su avance, crecerá la cabeza, cuello, tórax, lomo y cadera. Esta onda, que tiene prioridad de desarrollo

sobre las demás, explica el crecimiento paulatino desde la cabeza hacia atrás (Dañobeytia *et al.*, 2015).

La onda denominada apendicular, que se considera como segunda, inicia en la parte media de los miembros y se fracciona en dos ramas: Una se direcciona hacia la extremidad de cada miembro, encargándose de dar el tamaño definitivo a los pies; mientras que la otra se orienta hacia arriba, originando el crecimiento en altura del cuerpo. Esto evidencia el hecho de que el pie y la caña son las partes de las extremidades que primero alcanzan su tamaño definitivo en la etapa de la adultez (Dañobeytia *et al.*, 2015).

La tercera onda empieza a decrecer el efecto de las dos anteriores y es la encargada del desarrollo longitudinal de las costillas, por cuya causa se la denomina descendente. A sus efectos se atribuye el crecimiento en ancho de los diferentes huesos largos, puesto que este es muy tardío (Berlanga *et al.*, 1995).

2.2.4. Modelos biológicos

Desde la publicación de Brody y Herman (1964), sobre bioenergética y crecimiento, se han hecho numerosos esfuerzos para entender y refinar el fenómeno biológico del crecimiento, el cual es un componente muy importante en los sistemas de producción como el vacuno, dando lugar a la definición de numerosas curvas de creciente complejidad que sean capaces de definir el crecimiento desde el nacimiento hasta la madurez; e incluso desde el momento de la concepción (Azor *et al.*, 2005).

Las curvas de crecimiento reflejan el impulso inherente de los individuos a crecer y madurar en todas las partes del cuerpo e influencias del ambiente en que se expresan estos impulsos durante su periodo de vida. Este ambiente está conformado por el nivel individual de productividad, la cantidad y calidad del alimento consumido y el esfuerzo necesario para localizarlo, consumirlo y digerirlo (Pumará, 2005).

Son múltiples los factores que pueden afectar el comportamiento de las curvas de crecimiento: Carga genética animal, factores ambientales permanentes o transitorios, sanitarios, manejo y alimentación; por lo tanto, no existe una función generalizada para calcular el crecimiento animal. Sin embargo, dependiente del periodo que se analice, se pueden encontrar ecuaciones que permitan realizar proyecciones de crecimiento o sirvan como herramienta de trabajo al momento de tomar decisiones en la explotación pecuaria (Agudelo, 2004).

El crecimiento animal puede ser descrito por medio de funciones matemáticas que predicen el desempeño de la evolución del peso vivo. Dichas funciones permiten realizar evaluaciones sobre el nivel de producción en las empresas ganaderas, pudiendo clasificar de forma sencilla la productividad de una raza específica para una zona determinada; así como, conocer los parámetros genéticos para realizar procesos de selección de los mejores animales (Agudelo *et al.*, 2008).

Según Brown *et al.* (1976), para representar la curva de crecimiento se han propuesto diferentes ecuaciones matemáticas tanto de tipo lineal como no lineales, señalando en cada una de ellas ventajas e inconvenientes sobre la base de su fiabilidad o sensibilidad, número y tipos de registros necesarios, dificultad computacional, etc.

Todo modelo apropiado de crecimiento debe suministrar facilidad de interpretación sobre parámetros que pueden ser descritos biológicamente. Además, si se hace un buen uso del modelo se pueden obtener características que son de suma importancia. Las funciones matemáticas no lineales han sido usadas para describir el crecimiento en peces, aves y mamíferos. (Lopes *et al.*, 2012).

2.2.5. Curvas de crecimiento en animales

La evaluación del crecimiento animal es un proceso difícil de explicar. Una forma de describir este proceso es mediante el uso del modelo matemático, el cual permite expresar matemáticamente el curso de crecimiento durante toda la vida, ya que

conociendo la curva de crecimiento individual se podrían realizar evaluaciones adecuadas del curso de crecimiento y de la madurez temprana de los animales.

El avance de las tecnologías estadísticas y la perfección de las herramientas computacionales han permitido mejorar el procesamiento y análisis de datos en empresas del sector agrícola y ganadero, teniendo facilidad para obtener informaciones orientadas a la realización de proyecciones y programaciones en los sistemas de producción agrícola y pecuaria. El uso de estos modelos mixtos es una metodología rigurosa, siempre y cuando los analistas tengan una estructura de medidas repetidas.

Además, su uso en los últimos años ha abarcado distintas áreas del conocimiento, como la medicina (farmacocinética de drogas), la producción agropecuaria (curvas de crecimiento en plantas, curvas de crecimiento animal, curvas de producción láctea y curvas de respuesta fotosintética), entre otros. Esto indica que dicha metodología tiene una amplia gama de posibilidades en los sistemas de producción animal. Del mismo modo, con esta metodología se tienen sistemas para comparar modelos que son más estrictos como el criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información bayesiano (BIC), que son más rigurosos que las metodologías tradicionales (Agudelo *et al.*, 2008).

2.2.6. Modelos matemáticos y parámetros biológicos

Los modelos matemáticos son fundamentales e importantes para sistemas de producción animal y para la descripción de las curvas de crecimiento, los cuales permiten evaluar las diversas condiciones ambientales en la producción ganadera, donde se relacionan el peso con la edad de los animales por medio de modelos no lineales (Davidian y Giltinan, 2003).

Los modelos matemáticos no lineales que relacionan el peso con la edad han demostrado idoneidad para lograr la capacidad de ajuste de la curva de crecimiento en diferentes especies y razas. Estos modelos permiten que los datos de peso registrados sistemáticamente en el tiempo o edad del animal puedan ser resumidos en un pequeño

número de parámetros para facilitar la interpretación y el entendimiento del fenómeno (Rocha *et al.*, 2006).

Las funciones matemáticas de tipo sigmoidal permiten resumir el sistema del crecimiento en pocos parámetros descriptivos, los cuales pueden ser interpretados biológicamente. En algunas funciones se incluye un cuarto parámetro (T0), el cual se relaciona con el punto de inflexión de la curva, es decir, el umbral entre la fase autoaceleradora y la fase autoinhibidora (Vargas y Ulloa, 2008).

Las curvas de crecimiento animal permiten evaluar parámetros biológicamente importantes, tales como el tamaño del animal, el peso cuando alcanza la madurez sexual en reproducción, la relación entre la tasa de crecimiento con respecto a la tasa de maduración sexual y el peso al beneficio. La estimación temprana de los factores puede servir para proponer programas de selección y mejoramiento, pues son asociadas a otras características de importancia económica (Agudelo *et al.*, 2008).

Las funciones no lineales se caracterizan por presentar tres parámetros interpretables biológicamente y otro que se identifica como una constante matemática. El parámetro A, referido al peso asintótico o peso adulto, representa la estimativa del peso en la madurez, independiente de fluctuaciones de peso debido a efectos genéticos y ambientales cuando el tiempo tiende a infinito. El parámetro K, que se conoce como índice de madurez o tasa de madurez, viene a ser la estimativa de precocidad de madurez o tasa de madurez postnatal, la cual determina la eficiencia del crecimiento de un animal. Cuando el valor de este parámetro es mayor, más precoz es el animal. En consecuencia, los valores más bajos indican una madurez tardía; por lo tanto, viene a ser un indicador de la velocidad con que el animal se aproxima al peso adulto.

Por otro lado, el parámetro B es denominado parámetro de inflexión y se refiere al punto en que el animal pasa de una fase de crecimiento acelerado a una fase de crecimiento inhibitorio, o lo que es lo mismo, el punto a partir del cual el animal pasa a crecer con menor eficiencia (Posada *et al.*, 2011).

Dentro de los modelos lineales se pueden encontrar curvas de crecimiento lineales, cuadráticos o polinomiales; por otra parte, dentro de los modelos no lineales, las curvas más utilizadas son las de Gompertz, Brody, Von Bertalanffy y Logístico (Berlanga *et al.*, 1995).

Lineales:

- Lineal : $Y = a + bx$
- Cuadrático : $Y = a + bx + cx^2$
- Polinomiales : $Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ... + zx^n$

Los componentes de los modelos lineales utilizados son: "Y" es el peso vivo del animal; y "a" es el peso a la edad.

En estas ecuaciones: "a" representa la ordenada en el origen (estimación del peso en el nacimiento); "b" es la pendiente media de la curva (estimación de la ganancia media diaria desde el nacimiento hasta la edad máxima utilizada en el análisis); mientras que "c" y "d" son parámetros que determinan variaciones de linealidad en los polinomios de segundo y tercer orden (Berlanga *et al.*, 1995).

Según Berlanga *et al.* (1995), las curvas polinomiales, tales como lineal, cuadrática y cúbica constituyen las curvas de crecimiento más usuales por ser de facilidad de cálculo.

Además, al no exigir procedimientos no lineales (mucho más lentos y más exigentes desde el punto de vista computacional), a excepción de la lineal y la cuadrática, no poseen una fácil interpretación; sin embargo, el modelo más utilizado es la ecuación de regresión lineal, que asume un crecimiento constante a lo largo de toda la vida animal y suele servir para explicar el crecimiento en intervalos más o menos cortos en la vida del animal.

No lineales:

- Gompertz : Y = Ae - Be ^ (-kt)
- Brody : Y = A (1 - Be - kt)

- Von Bertalanffy : Y = A (1 - Be - kt) 3
- Logístico : Y = A (1 + Be - kt) - 1

Los parámetros de modelos no lineales utilizados son:

Y = Peso vivo del animal a la edad "t"
T = Edad del animal
A = Peso adulto o asintótico en kg
B = Constante de integración
K = Pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento (kg* kg - 1t - 1)

Los modelos no lineales incorporan tanto los parámetros fijos que son asociados a la población y los parámetros aleatorios que están relacionados con los datos de las unidades experimentales. Estos modelos se han empleado para describir las relaciones entre las variables y algunas covariables que son agrupadas de acuerdo con la estructura de los datos.

Modelo Gompertz

La ecuación de Gompertz considera que la descendencia final para crear una curva sigmoide tiene su origen al utilizar proporciones logarítmicas. La curva es triparamétrica. La bondad del ajuste la sitúa en la zona intermedia dentro de las curvas biológicas, sobreestimando los pesos juveniles y subestimando los más tardíos. El modelo Logístico y Von Bertalanffy tuvieron un ajuste mejor en las especies evaluadas, pero para bovinos el modelo Gompertz fue el más adecuado para predecir el crecimiento.

Modelo Brody

La curva de Brody define bien el crecimiento, es de fácil ajuste y tiene buena bondad de ajuste cuando se emplea en periodos postdestete (seis meses en bovinos a partir del 30 % del peso adulto, tras el punto de inflexión). Sin embargo, se adapta

menos a las fluctuaciones de los pesos y suele subestimar el peso en el nacimiento. Según Domínguez-Viveros *et al.* (2014), el modelo Brody fue el que permitió describir mejor el crecimiento de bovinos *tropicarne*, lo que implica una tasa de madurez (K) lenta, es decir, típica característica de crecimiento de los bovinos en el trópico.

Modelo Von Bertalanffy

La ecuación de Von Bertalanffy se basa en el concepto de que cada incremento corporal representa el triunfo del anabolismo frente al catabolismo. La curva de Von Bertalanffy presenta el mejor ajuste global de las curvas biológicas, siendo superada solo por las polinómicas. Además, presenta una ligera sobreestimación de los pesos iniciales y una menor subestimación de los pesos finales.

Modelo Logístico

La ecuación logística generalizada (Nelder, 1961) de tipo en que A es el peso asintótico; K, el grado de Madurez; y M, el parámetro de forma de la curva. Se considera curva biológica, ya que sus parámetros pueden interpretarse en clase fisiológica. Para algunos autores es la ecuación que mejor expresa el crecimiento postnatal de los animales; sin embargo, otros comprueban que sus cuadrados medios residuales son mayores que en el resto de modelos biológicos. Por otra parte, se considera que sobreestima el parámetro K y subestima el valor A. Por ello, al realizar la comparación con la ecuación lineal, vemos que sobreestima los pesos a edades muy tempranas y los subestima cerca del destete.

2.2.7. Utilidad de las curvas de crecimiento

Según Aguilar (2010) y Freitas (2005), del análisis de las curvas de crecimiento surgen datos de extremada importancia, tales como:

- Resumir en tres o cuatro parámetros las características del crecimiento de un individuo o población.

- Evaluar el perfil de la respuesta de un individuo o población a un determinado tratamiento en el tiempo.
- Identificar en la población a los animales más pesados en edades más tempranas.
- Observar e identificar la variación entre y dentro de los individuos, lo cual es de gran interés en las evaluaciones genéticas.
- Obtener parámetros de interés como las tasas de crecimiento absolutas o relativas.

2.2.8. Aplicación de los modelos matemáticos en las curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento se han utilizado con diversos objetivos. El uso frecuente es la definición de estas curvas estándares para las distintas razas o grupos genéticos. De acuerdo con Cruz (2011), la cuantificación del crecimiento en peso hasta una edad determinada bajo condiciones óptimas de manejo, alimentación, control sanitario y condiciones climáticas en las cuales se ha desarrollado una raza, constituye el patrón de crecimiento normal de dicha raza o grupo genético. Estos patrones de crecimiento pueden ser utilizados como referencia para determinar la eficiencia productiva y reproductiva de un grupo o grupos específicos de animales con respecto al patrón de la raza. Del mismo modo, pueden utilizarse para determinar o predecir si un animal es excepcional o si es necesario adoptar medidas correctivas en la explotación (Juengel *et al.*, 1993).

2.2.9. Criterios de bondad de ajuste

Los criterios más usados para elegir la curva que mejor se ajustan a los datos son, el coeficiente de determinación, el porcentaje de curvas significativas y atípicas encontradas para cada función; además, se pueden aplicar el criterio de información Akaike y el criterio de información bayesiano (Agudelo *et al.*, 2008).

2.2.10. Modelación no lineal en curva de crecimiento de especies

Según Agudelo *et al.* (2008), realizando estudios comparativos de los modelos matemáticos que evaluaban el crecimiento hasta edad adulta, encontró que los modelos

de Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico sobreestimaban los pesos a edades tempranas, mientras que el Logístico subestimaba el peso durante la madurez. El modelo de cuatro parámetros de Richards tuvo un ajuste más preciso y requirió más cálculos para su ajuste; incluso más que los modelos de tres parámetros; mientras que el modelo Brody tiene un buen ajuste cuando se aplica a datos de bovinos con edades superiores a seis meses, ya que durante los primeros días de vida subestima el peso.

Asimismo, se cuestiona qué modelo se aplica mejor para describir el crecimiento corporal de ovinos. Es importante señalar que no hay un modelo patrón estándar para todas las razas. Según McManus *et al.* (2003), el modelo logístico sería el más adecuado, ya que se ajusta mejor y sus coeficientes de determinación (R^2) fueron más altos (0.849 y 0.863) que los demás modelos matemáticos para la raza bergamasca.

En este mismo sentido, Vargas y Ulloa (2008), reportaron que las ecuaciones de Gompertz y Brody serían las más adecuadas para modelar series de registros que incluyan el peso adulto y, generalmente, no ajustan bien los pesos en etapas tempranas del crecimiento. Existe una gran diversidad de reportes en especies de animales.

Por otro lado, Rocha *et al.* (2006), comparando funciones en la curva de crecimiento en ovinos de la raza Santa Inés y observaron que el modelo Gompertz dio resultados más fiables con efecto residual medio (MSE) de 17.27; coeficiente de determinación (R^2) de 0.7205 y desviación de 0.582; similares a los reportados por Lambe *et al.* (2006), quienes consideran que el modelo Gompertz presenta los mejores ajustes para describir el peso desde el nacimiento hasta el sacrificio. Por otro lado, Freitas (2005), informó que los modelos logísticos, Von Bertalanffy y Brody fueron más versátiles para adaptarse a las curvas de crecimiento en el ganado ovino, llegando estos modelos con coeficientes de determinación (R^2) sobre 92 %.

En base a estas informaciones se debe considerar que una misma función matemática puede dar resultados diferentes según la raza, la población y otros aspectos; así como en las estimaciones de los parámetros de cada función y los criterios

adoptados para evaluar los modelos más ajustados y encajar las curvas de crecimiento evaluadas según los medios de crianza de los animales.

Diferentes estudios indican el ajuste de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en codornices, pollos de engorda, gallinas de postura, pavos, entre otras especies. Durmus *et al.* (2017) mencionan que los modelos matemáticos más utilizados en la avicultura para describir curvas de crecimiento en diferentes especies basadas en 622 investigaciones son: Gompertz (38.26 %), Logístico (29.74 %), Richards (17.6 %) y Von Bertalanffy (14.4 %). En tal sentido, para definir cuál modelo se ajusta mejor a la curva de crecimiento debemos considerar que los criterios utilizados son la suma de cuadrados del error (SCE), coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2), criterio de información Akaike (AIC) criterio de información bayesiano (BIC) y la suma de cuadrados del error (SCE) (Agudelo *et al.*, 2008).

Los modelos han sido evaluados según su bondad de ajuste, capacidad de predicción e interpretación biológica de los parámetros. Estas funciones no lineales han sido usadas para describir el crecimiento en peces, aves y mamíferos. Además, se ha tenido dificultad en la aplicación informática y evaluación de parámetros ambientales.

Según Delgadillo *et al.* (2009), quienes reportan que el modelo de regresión polinomial cúbica tiene una buena capacidad de ajuste a los datos de crecimiento en los ciervos desde el punto de vista matemático, tanto para hembras como para machos. Sin embargo, estas ecuaciones no demuestran un punto de inflexión en la curva al alcanzar el peso maduro y, además, no proporcionan una representación adecuada del fenómeno de crecimiento como los modelos no lineales que estiman los parámetros biológicos. Por lo tanto, se prefiere el modelo Brody en las hembras para obtener resultados que permiten establecer criterios de selección orientados a la producción de carne en ciervos, donde las hembras alcanzaron un peso de 78 kg; y los machos, 147 kg.

El modelo Logístico puede predecir la ganancia de peso en forma confiable a lo largo de la vida de los cuyes de raza andina (Martínez-González *et al.*, 2015). Sin

embargo, en otros estudios, Noguera *et al.* (2008) indican que el modelo Brody subestima el peso en el nacimiento, independientemente del sexo de los animales; por el contrario, los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico evidencian predicciones bastante aproximadas al peso de los animales a través del tiempo. Además, los criterios de información estadístico permiten determinar cuál es la capacidad de ajuste de un modelo frente a otro. En efecto, es necesario tener en cuenta como parámetros de evaluación la coherencia biológica de los parámetros estimados del modelo.

Según la estimativa del peso maduro (parámetro A) en cuyes fue mayor para los machos que para las hembras en todos los casos. El mayor valor de A fue verificado en el modelo Brody con 2124.3 g para machos y 1715.6 g para hembras. Los valores estimados por los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico fueron 1435.1 y 1303.8, 1331.3 y 1232.4, 1198.8 y 1140.3 para machos y hembras, respectivamente (Noguera *et al*., 2008). Según estudios realizados, el modelo Brody presentó las mayores estimaciones del peso asintótico; y el modelo Logístico, valores consistentemente por debajo de los demás modelos evaluados.

Sin embargo, Chauca (1997), reporta que el peso adulto de los cuyes mejorados debe oscilar entre 1 100 a 1 300 gramos a las 13 semanas de edad. Según estos valores el modelo Brody sobreestima el peso adulto para machos y hembras, estando este valor muy por encima de los valores utilizados para el ajuste de los modelos.

Los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico permiten hacer predicciones del peso adulto más certeras que los valores informados en la literatura para cuyes mejorados. Todos los modelos revelaron que los machos presentan un mayor peso maduro que las hembras.

El parámetro K significa la tasa de madurez del animal e indica la velocidad de crecimiento en el sentido de alcanzar el peso asintótico a partir del peso inicial. Por lo tanto, cuanto mayor es el valor de K, más rápidamente el animal va a alcanzar su peso adulto. Animales con un alto valor de K presentan madurez precoz en comparación con individuos que poseen un bajo valor de K. Además, el modelo Brody tiende a

sobreestimar el peso maduro de los animales y a subestimar las tasas de crecimiento tanto para machos como para hembras. A pesar de esta situación, los criterios de bondad de ajuste evidencian que este modelo puede ser utilizado para describir curvas de crecimiento en los cuyes (Noguera *et al*., 2008).

Los estudios de modelación de crecimiento en chinchillas, evidencian que función exponencial que explica curva de crecimiento, porque tendría como fundamento la naturaleza biológica del proceso que, si bien no necesariamente se dio en el periodo de tiempo restringido a la lactancia sino en un lapso mayor que se extiende hasta la inflexión, es de naturaleza exponencial *(*Nistal *et al.*, 2013).

Por otro lado, según estudios realizados en aves sobre evaluación de modelos matemáticos en el crecimiento de gallinas, se reportó que el modelo Gompertz describe mejor la curva de crecimiento en gallinas criollas a los 63 días de edad en ambos sexos; mientras que el modelo Von Bertalanffy puede ser utilizado para describir solamente la curva de crecimiento en los machos (Saragoz, 2020).

Estudios sobre crecimiento en pavos (machos y hembras), correspondieron al modelo Von Bertalanffy con mejor capacidad de ajuste. El más alto valor alcanzado en el parámetro A (edad en la madurez) tanto para hembras y machos se evidenció en el modelo Von Bertalanffy; seguido de Gompertz y Logístico. El estimador A fue mayor en los machos que para las hembras. El mayor valor del parámetro K (tasa de madurez), para hembras y machos variaron según el modelo utilizado. Los valores de K fueron los más altos en las hembras que para los machos. La edad en el punto de inflexión también demostró variación de un modelo a otro (Juárez-Caratachea *et al.*, 2019).

Así mismo, evaluaciones realizadas sobre las curvas de crecimiento en cabras catalanas, machos y hembras, tuvieron capacidad de ajuste en los tres modelos de crecimiento (Gompertz, Von Bertalanffy y Logístico). Los modelos presentaron valores diferentes en cuanto a los criterios de bondad de ajuste, donde el modelo Logístico tuvo una mejor descripción de las curvas de crecimiento para los machos; y el de Von

Bertalanffy para las hembras. Aun así, el modelo Logístico tiende a sobreestimar el peso inicial de los animales (Parés-Casanova y Kucherova, 2014).

También se han realizado evaluaciones de crecimiento en porcinos. El modelo de Richards permitió describir aceptablemente el crecimiento de porcinos del cruce Duroc con Celta (Iglesias *et al.*, 2014).

Según León *et al.* (2006), el modelo Logístico es el que mejor se ajusta a la curva de crecimiento en ovinos. Sin embargo, a pesar de los resultados diferentes, se afirma que al utilizar el modelo Gompertz en la descripción de la curva de crecimiento de ovinos, resulta eficiente para establecer predicciones en el comportamiento productivo, reflejado en el futuro inicio de la actividad reproductiva de nuevas ovejas, candidatas a ser vientres de reemplazo. Además, el modelo Gompertz permitió describir el crecimiento de ovinos criollos, de acuerdo con las características de crecimiento en el trópico y con una alimentación basada en pastoreo. El tipo de curva se ajustó al sentido estricto de la curva sigmoidea, característica de los modelos no lineales (Vergara *et al.*, 2017).

Además, según los estudios de crecimiento en bovinos *pantaneiros*, se concluyó que todos los modelos utilizados brindaron buena calidad de ajuste en los pesos para ambos sexos, indicando que las hembras alcanzan la madurez en edades más precoces, mientras que los machos presentan un peso adulo más elevado (Abreu *et al.*, 2004). Asimismo, en una comparación de modelos no lineales, para describir el crecimiento en el ganado blanco orejinegro (BON), el modelo Brody fue el que mejor describió el comportamiento del crecimiento del ganado BON. Este modelo evidencia una importante capacidad productiva de este ganado, permitiendo obtener un crecimiento comparable o superior al de los ganados y cruces comerciales utilizados para producir carne en condiciones tropicales, lo que permite postularlo como un recurso económico importante para ser usado en la producción de carne bovina (Rincón y Quintero, 2015).

Los modelos de crecimiento en el ganado cebulino, según Posada *et al*. (2011), concluyeron que el modelo Brody fue el que mejor describió el crecimiento de los machos Nelore, los cuales fueron criados en confinamiento, con suplementación

alimenticia y bajo el manejo restrictivo desde el punto de vista nutricional al que fueron sometidos.

El crecimiento de los bovinos para carne está caracterizado por una curva de tipo sigmoidea de tres fases: Un crecimiento lento inicial, una fase de aceleración pronunciada y un periodo de desaceleración, hasta alcanzar el peso adulto (Lawrence y Fowler, 2002).

La dificultad de ajuste y capacidad de predicción de los modelos no lineales (MNL), se debe al uso de animales jóvenes para la estimación del peso adulto, así como la falta de datos en periodos importantes de la curva de crecimiento. El punto para alcanzar el peso adulto no se debe a que cuando la edad máxima de los datos analizados es de dos años, ya que aún falta completar el desarrollo y conformación de los animales (Domínguez-Viveros *et al.*, 2017).

Según Apaza y Quispe (2016), en condiciones de crianza extensiva, referidas al peso en el nacimiento y en ambas razas, las crías de las llamas duplican su peso a 60 días, triplican a 90 días y cuadruplican al destete (siete meses). Entre las razas, las diferencias favorecen a las crías de las llamas *k'ara* a partir de los dos meses de edad ($p < 0.01$); aunque en los primeros 30 días no es manifiesta. Existe mayor incremento de peso en el primer mes de vida, atribuible al efecto maternal; luego disminuye respecto a los ajustes de las curvas de crecimiento. En tal sentido, los modelos Brody y Von Bertalanffy son los que demuestran mejor bondad de ajuste. El parámetro B no tiene interpretación biológica. El parámetro K evidencia valores pequeños, pero positivos; y entre ambas razas, que son similares, se relacionan con los valores de A.

La superioridad del peso de las crías *k'ara* a partir de los 60 días hasta el destete ($p < 0.01$), expresada en el sistema de crianza extensiva, visualiza las potencialidades de la producción de carne con respecto a las *ch'accu*; diferencia atribuible a factores de orden genético. En cuanto a los parámetros de la curva de crecimiento de alpacas y llamas nacidas por transferencia de embriones interespecies, obtenidos a través del modelo Brody, desde el nacimiento hasta los 12 meses de edad, en el centro

experimental Quimsachata del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) (Huanca *et al.*, 2012).

Según Canaza-Cayo *et al.* (2015), de acuerdo a los objetivos de estudio, describir el crecimiento desde el nacimiento hasta los 16 meses de edad en las llamas, mediante la aplicación de cuatro funciones no lineales y la evaluación de los efectos ambientales sobre los parámetros de la curva de crecimiento. El modelo de crecimiento de Gompertz fue adecuada para describir el patrón de crecimiento en llamas jóvenes, el peso corporal asintótico (A) fue influenciado por todo los efectos fijos, mientras que el crecimiento específico la tasa (K) solo se vio afectado por el mes y año de nacimiento; Peso asintótico llamas *K´ara* (A= 47,34 kg), índice de madurez(K=0,0212 kg); Intermedias (A=46,92 kg), índice de madurez(K=0,0213 kg.) y llamas *ch´accu* (A=45,41 kg), índice de madurez(K=0,0242 kg).

Otros estudios, según Wurzinger *et al.* (2005), reportaron resultados sobre crecimiento en llamas tampulli(*ch´accu*) diferencias significativas(<0,05) entre sexo: Los machos alcanzaron altura a la cruz (A=106 cm.; k=0.58 cm) y las hembras(A=102 cm.; k=0.77 cm; sin embargo no habiendo diferencias significativas(p>0,05) para longitud de cuerpo, macho (A= 78cm.; k=0.81 cm); hembra(A=78 cm.; k=0.75 cm.), sin embargo se evindenció diferencias significativas(p<0.05), para peso vivo kg. Los machos (A= 101 kg.; k= 0,81kg.) y hembra(A=75 kg.; k=0.75 kg.). Los resultados comparativos (p<0,05) entre razas *k´ara* y *thampulli(ch´accu*) entre hembras, llamas *k´ara* evidenció altura a la cruz (A=104 cm.;k=0.76 cm.) y hembra *tampulli* (A=102 cm., k=0.77 cm.); largo de cuerpo: *k´ara*(A=78 cm.; k=0,84 kg.); *thampulli*(A=78 cm.; k=0,75 cm.) y peso vivo kg.: llamas *k´ara* (A=74 KG.; K=0,61 y llamas *tampulli*(A= 75 kg.;k=0,53 kg.).

.

Por otro lado, los efectos ambientales en los parámetros de la curva de crecimiento, donde el sexo tuvo un importante efecto sobre A, que se estimó en 2,17 kg más en hembras que en machos ($p \leq 0,05$): en machos (45,47) y hembras (47,64). Un valor más alto de A para las hembras puede ser razonablemente esperado, debido a las

diferencias hormonales y fisiológicas que estimulan la aparición temprana de actividad sexual; con ello se evidencia un mayor desarrollo corporal de las hembras en comparación a los machos. Las razas *k'ara* (47,34 kg) e intermedios (46,92 kg) tuvieron un peso maduro (A) significativamente más alto que la *ch'accu* (45.41 kg), donde los valores de K fueron 0,0242, 0,0212 y 0,0213 para *ch'accu*, *k'ara* e intermedios, respectivamente. Con ello se sugiere que las razas *k'ara* e intermediarios maduraron más tardíamente que la *ch'accu*. Wurzinger *et al.* (2005), afirmaron la existencia de diferencias entre razas, y que las hembras *ch'accu* alcanzan la madurez tempranamente.

Según Romero (2019), en sus estudios realizados en alpacas de raza *suri*, el modelo Gompertz es ligeramente mejor con un coeficiente de determinación de 98,139 % y 97,418 %; seguido por el modelo Logístico con un coeficiente de determinación de 98,044 % y 97,319 %; y por último, el modelo Brody con un coeficiente de determinación de 82,49 % y 78,58 %; tanto machos y hembras, respectivamente; en el Centro de Investigación y Producción Quimsachata del INIA, Puno.

Otros estudios efectuados por Cruz *et al.* (2018), han demostrado que la evolución del aumento de peso vivo a lo largo de la vida de la alpaca es un fenómeno complejo que depende del genotipo del animal, de factores ambientales como el tipo, sexo, color y año de muestreo; cuyos efectos climatológicos tienen mayor impacto en las etapas iniciales del crecimiento. Las diferencias encontradas en el peso del nacimiento son influenciadas por el efecto de tipo y año de muestreo, donde los demás efectos o interacciones no poseen mayor influencia. Por ello, el mejor modelo para predecir la curva de crecimiento es el modelo Brody; y el peso asintótico es mayor en los machos que en las hembras de ambos tipos.

Mediante un estudio de comparaciones de transferencia de embriones como receptores, en llamas y alpacas madres, mediante la evaluación de modelos no lineales Brody, se concluyó que los valores de los parámetros K obtenidos en las crías de las llamas son: 0,00489 y 0,00772 de alpacas receptoras y de su misma especie, respectivamente. Esto nos indica que las crías de las llamas, cuyos receptores son las alpacas, son relativamente precoces (Huanca, *et al.*, 2012).

2.2.11. Factores ambientales que afectan el crecimiento

Los sistemas de producción y rendimiento de los animales de explotación comercial están influenciados por factores ambientales y genéticos; siendo el factor ambiental el de más importancia entre todas las condiciones externas, ya que afecta el grado de expresión del potencial genético de un animal, tales como salud, bienestar, productividad y eficiencia reproductiva. Además, incluye a otros factores inmersos en torno a los animales, tales como manejo, nutrición, aspectos sociales y enfermedades. Del mismo modo, se encuentran los factores climáticos: Temperatura, humedad y ventilación. En tal sentido, todos estos factores deben ser operados apropiadamente para obtener una buena eficiencia de producción (Echevarría y Miazzo, 2002).

El desempeño productivo del ganado de carne en diferentes especies está afectado por factores climáticos, particularmente la temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar y la velocidad del viento. Por ello, el animal responde a esta situación mediante cambios hormonales y fisiológicos.

a) Herencia y medioambiente

Tanto la herencia y como el medioambiente son de mucha importancia para la actividad económica. La mejor herencia posible no producirá un lote superior si no se proporciona también el medioambiente apropiado, de modo que los animales puedan alcanzar el límite señalado por su herencia. De igual modo, el mejor medioambiente posible no desarrollará un lote superior si los animales no son poseedores de una herencia apropiada (Echevarría y Miazzo, 2002).

Además, tanto la herencia como el medioambiente son importantes en la producción de las diferencias entre los animales. Se puede determinar la importancia relativa de la herencia y del medioambiente sobre la variación de los caracteres individuales. Las diferencias ambientales incluyen la variación no genética, que es un resultado de las influencias del manejo, la nutrición y el clima; algunos animales nacieron en camadas grandes y otros en camadas pequeñas; algunos recibieron mejores

cuidados que otros; algunos nacieron cuando la temperatura era muy alta y otros cuando era extremadamente baja; algunos animales pueden estar parasitados mientras otros no. (Warwick y Legates, 1980).

b) Factores del crecimiento interno

Los factores internos que pueden afectar a la célula que está en su proceso de crecimiento son: Las hormonas, que pueden acelerar o inhibir la división celular. Cada especie animal tiene diversas características de crecimiento, dependiendo de la información genética e inclusive de la edad. En la Tabla 2 se detallan los principales factores que afectan el crecimiento y desarrollo en la etapa predestete y postdestete en el vacuno.

Tabla 2

Factores que afectan el crecimiento en las etapas prenatal, predestete y postnatal

Prenatal	***Predestete***	***Postdestete***
Genotipo	Genotipo	Genotipo
Tamaño de la madre	Sexo	Sexo
Edad de la madre	Peso al nacer	Peso al destete
Número de fetos	Aptitud materna	Equilibrio hormonal
Nutrición de la madre	Edad de la madre	Alimentación disponible
Temperatura del ambiente	Nutrición	Manejo
Antro materno	Leche materna	Clima
	Alimentación de la madre	Adaptabilidad
	Edad al destete	Sanidad
	Sanidad de la madre y la cría	

Nota. Reproducida de "*Producción Animal e Higiene Veterinaria. Licenciatura de Veterinaria*", por M. Sánchez, J. Martínez, y A. Garzón, 2010, *Departamento de Producción Animal*. Disponible en: *https://studylib.es/doc/8152631/buxadé--c.--coord.---1996.-zootecnia.-bases-de-producción*. Es de dominio público.

c) Factor raza

Los factores genotípicos inciden sobre el desarrollo fetal y se manifiestan desde el nacimiento hasta la adultez; la cría crece en forma lenta durante el primer mes postparto, pero después inicia una fase de un rápido crecimiento hasta alcanzar la pubertad; y luego disminuye la velocidad de crecimiento hasta llegar a la estabilización en la edad adulta (Agudelo, *et al.*, 2008).

La velocidad de crecimiento de un animal depende fundamentalmente de su edad, de su peso adulto y del sexo. Las razas diferentes dan distinto peso adulto y siempre que la nutrición no sea un factor limitante, tienden a alcanzar el desarrollo y peso total a la misma edad en cada raza. La velocidad del crecimiento más rápido de las razas pesadas explica la diferencia de peso entre un toro Charolais y un Aberdeen Angus, un carnero Lincoln y uno Merino, un padrillo Duroc Jersey y uno Landrace, por mencionar algunos ejemplos. Esta diferencia en la ganancia diaria de peso está determinada por el distinto potencial genético (Bavera, *et al.*, 2005).

En diversos estudios se reportan diferencias entre las llamas *k'ara* y *ch'accu* mediante la curva de crecimiento para medidas de peso corporales. Las diferencias encontradas fueron en la tasa de madurez para las hembras de ambas razas. Entre sexos también evidenciaron diferencias en la tasa de madurez y tamaño en llamas *k'ara* y *thampullis* (Wurzinger, *et al.*, 2005).

2.2.12. Factores que afectan el peso en el nacimiento

Según Holland y Odde (1992), los factores que afectan la tasa de crecimiento fetal y, por ende, el peso de los bovinos en el nacimiento, se pueden agrupar en dos categorías: genéticos y ambientales. El factor genético más importante son las diferencias raciales, dadas por los efectos genéticos aditivos (directos, maternales y paternales); los no aditivos generados a través de la heterosis (individual, maternal y paternal); y las pérdidas por recombinaciones (individuales, maternales y paternales).

Además, se consideran los efectos de la consanguinidad y el largo de gestación. Los factores ambientales más importantes son la estación de parto, edad de la madre en el parto, nutrición de la madre, mes y año de nacimiento del ternero, sexo del ternero, manejo, clima, etc.

a) Factor sexo

Según Bavera, *et al.* (2005), consideraron que en el factor sexo los machos crecen más rápido que las hembras debido, precisamente, a la mayor potencia de los andrógenos con respecto a los estrógenos sobre la estimulación del crecimiento. Los machos consumen más alimento que las hembras porque presentan una mayor tasa metabólica, pesan al nacer entre el 5 % y 7 % más que las hembras, el tiempo de la gestación es de 3 a 4 días más en el macho, son más eficientes en la conversión de alimento que las hembras (Bavera *et al.*, 2005). Otros autores reportan que en el ganado vacuno, los machos fueron ligeramente más pesados que las hembras en el momento del nacimiento (Magaña, *et al.*, 2002).

Por otro lado, en el nacimiento, el macho tiene un 4 % o 5 % del peso adulto; en tanto que la hembra, aunque es más liviana, tiene entre un 7 % o 10 % del peso adulto. Esto nos indica que la hembra nace más madura que el macho, lo cual explica también la menor tasa de crecimiento (Bavera, *et al.*, 2005).

Así mismo, en similares trabajos de investigación se han reportado que el sexo y el tipo de parto afectaron significativamente el peso al nacimiento, la tasa de crecimiento predestete y el peso en el destete de los corderos (Macedo y Arredondo, 2008). Según Wurzinger, *et al.* (2005), el peso maduro de los machos *thampullis* fue de 101 kg y el de las hembras alcanzó los 75 kg.

b) Efecto materno

El crecimiento intrauterino tiene gran importancia en el desarrollo del animal después de nacido, ya que las crías de madres mal alimentadas son, en promedio, más

livianas al nacer que las crías de madres bien alimentadas; y si el animal no posee un buen peso al nacer, no estará en condiciones de compensar situaciones adversas posteriores. El periodo de desarrollo fetal difiere en las diversas especies, y cuanto mayor es este periodo, mejor es la formación del recién nacido (Bavera, *et al.*, 2005).

En las alpacas, la edad de la madre afecta al desarrollo de la cría, su sobrevivencia y también el desarrollo adulto de estos animales. Las madres de 5 a 2 años de edad tuvieron las mejores crías en peso en el nacimiento (8,16 kg). Así mismo, se afirma que el peso de la madre tuvo gran significancia sobre la sobrevivencia y peso de las crías recién nacidas; y del mismo modo, en el peso del destete, peso vivo, peso de vellón y longitud de la mecha en la primera esquila (Bustinza, *et al*., 1988).

Según estudios realizados en ovinos, Luque Moya, *et al.* (1995), manifiestan que el conocimiento de los diferentes factores que afectan el crecimiento de los corderos resulta de gran importancia para establecer normas adecuadas de manejo y alimentación que permitan expresar todo su potencial genético para la producción de carne. Este se encuentra condicionado por defectos genéticos propios del animal y por efectos del medio de los que una parte son atribuibles a su madre, es decir, la influencia materna; la cual se debe al nivel de la producción lechera.

De acuerdo a lo indicado por Agudelo, *et al.* (2008), en sus trabajos realizados en los vacunos de los trópicos, los factores ambientales, tales como el año del parto, mes del parto, número de lactancia y la edad en el parto lineal tuvieron significancias estadísticas sobre las características como el comportamiento reproductivo. Además, concluye que la heredabilidad (h^2) estimada por intervalo entre partos tiene solo una pequeña parte de la variación fenotípica, ya que se debe a los efectos genéticos aditivos.

c) Época de parto

En explotaciones alpaqueras donde el periodo de parición es más amplio y, en consecuencia, la fecha de nacimiento influye sobre el desarrollo de la cría. Del mismo modo, la edad de la madre afecta al desarrollo de la cría, su sobrevivencia y también el

desarrollo adulto de estos animales. Las madres de 5 a 12 años de edad tuvieron las mejores crías en peso en el nacimiento (8,16 kg). También se afirma que el peso de la madre tuvo gran significancia sobre la sobrevivencia y el peso de las crías recién nacidas; y del mismo modo, en el peso del destete, peso vivo, peso de vellón y longitud de la mecha en la primera esquila (Bustinza, *et al.*, 1988).

2.2.13. Suplementación alimenticia

El factor que más afecta al rendimiento o crecimiento en cualquier especie animal es la satisfacción de sus necesidades metabólico-fisiológicas, según el tipo de dieta que consume. La alimentación, en calidad y cantidad, es un factor estimulador o inhibidor del crecimiento. En el ganado Brahman (cebú), por ejemplo, se han constatado rendimientos del 52 % en dietas de alto contenido de forraje al compararse con rendimiento superiores del 56 % en un régimen dietético concentrado; lo que demuestra el valor de la dieta y su influencia sobre el crecimiento animal. No obstante, el problema es dilucidar cuál es más económico y sustentable. El ganado autóctono, de respetársele su acción conductual e incrementarle directamente su dieta energética, es más productivo con un menor costo económico de crianza (Bistolfi, *et al.*, 2014).

El sistema de explotación de los camélidos en los andes es totalmente extensivo, donde los animales aprovechan los pastos pobres en terreno abrupto y en un clima extremo, ya que se trata de una población perfectamente adaptada al medio en que vive.

2.2.14. Periodos críticos en la nutrición de los camélidos

Según estudios realizados en el sur del Perú, tanto la digestibilidad de la ingesta y la proteína se incrementan en la época de las lluvias y tienen sus niveles más bajos entre los meses de agosto y octubre. Al relacionar este comportamiento de la disponibilidad y calidad del forraje durante el año y el requerimiento nutricional de los animales, según los estados fisiológicos que evolucionan, se han observado dos épocas críticas (San Martín, 1991). Se debe tener en cuenta el conocimiento de las zonas ecológicas donde se explotan los camélidos y realizan el manejo adecuado.

Es necesario identificar los periodos críticos según la disponibilidad de los forrajes en la zona y tener el conocimiento sobre las etapas críticas, tales como la época del destete, donde los animales jóvenes dejan de depender de la madre para cubrir parte de sus requerimientos, pero a su vez, estos encuentran problemas en la disponibilidad del forraje, ya que coincide con los meses que tienen una baja oferta forrajera. En consecuencia, los animales experimentan una disminución de peso durante este periodo. Otra fase crítica ocurre durante el último tercio de gestación, donde los requerimientos nutricionales del feto incrementan con más intensidad. Esta etapa, a su vez, coincide con el inicio de la época de lluvia (octubre, noviembre y diciembre), en donde la disponibilidad del forraje aún se encuentra en estado de rebrote (San Martín, 1991).

Con respecto a la calidad de la dieta seleccionada por los animales en el altiplano, se observó durante la época de sequía, tanto en alpacas como en llamas, que la calidad nutritiva de la dieta alcanza los niveles más bajos. En cambio, durante la estación de lluvias, la calidad nutritiva se incrementa notablemente (Reiner y Bryant, 1986).

Por lo tanto, es necesario realizar un estudio de identificación de los periodos críticos nutricionales bajo condiciones de pastoreo en las zonas altoandinas; así como, identificar los cambios en la disponibilidad del forraje, calidad nutritiva de los animales en sus diferentes etapas productivas (Leyva y Sumar, 1981; citados por Pacheco *et al.*, 2017).

Por otro lado, según Robles, *et al.* (2020), las llamas alimentadas con forraje natural y suplementadas con heno de alfalfa tuvieron una mayor ganancia de peso vivo ($p < 0,01$).

Según Posada, *et al.* (2011), considerando las comparaciones de los modelos de regresión no lineal (Brody, Gompertz, Von Bertalanffy y Logístico) en diferentes condiciones de alimentación como el confinamiento o la suplementación alimenticia y el sometimiento a la experimentación acorde a la interpretación biológica de los parámetros, resultaron en que el modelo Brody presentó la mejor capacidad de descripción del crecimiento en la especie del ganado Nelore, específicamente en los

machos, con relación a los pesos maduros y las menores tasas de madurez. Asimismo, indica que los animales alcanzan el peso asintótico en la edad más avanzada en razón a su desarrollo lento, consecuencia del manejo experimental al que fueron sometidos.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Ambiente

Es la suma de todas las condiciones externas y circunstancias que afectan la salud, el bienestar, la productividad y la eficiencia reproductiva de un animal (Echevarría y Miazzo, 2002).

2.3.2. Crecimiento

El crecimiento animal es una de las características productivas más importantes al momento de evaluar la productividad de las explotaciones dedicadas a la producción de carne; y es usado también como criterio de selección. La medida del crecimiento debe basarse en una unidad que describa lo más exacto posible el cambio producido. La descripción matemática del comportamiento del crecimiento de los animales es la curva de crecimiento, ya que permite relacionar la variación del peso en función del tiempo a través de un modelo no lineal (Paz, 2002; como se citó en Freitas, 2005).

2.3.3. Curvas de crecimiento

Expresa el crecimiento como un aumento que se va acumulando durante un periodo de tiempo establecido. La curva sigmoidea característica manifiesta durante las primeras etapas del crecimiento el aumento de la masa corporal, indicando que supera ampliamente las pérdidas (Bavera *et al.*, 2005).

2.3.4. Modelo matemático

El modelaje matemático constituye una herramienta para el estudio de la complejidad del fenómeno del crecimiento animal, incluyendo el de los peces. El nivel de acercamiento puede ir desde modelos empíricos que corresponden a funciones no lineales que relacionan una dimensión corporal con la edad del animal (Aguilar, 2010).

CAPÍTULO III

MARCO FILOSÓFICO

3.1. FILOSOFÍA Y EPISTEMOLOGÍA

Los modelos matemáticos se han utilizado en diferentes investigaciones para describir los procesos biológicos en animales, es decir, en el sector agrícola. Los mismos surgen como alternativa en el estudio de sistemas con diversas características (Mejías, 2018).

Históricamente, el estudio de la dinámica de procesos agrarios ha acompañado de expresiones algebraicas, pero debido a su compleja naturaleza no pudieron ser resueltos por los métodos tradicionales del análisis matemático. En la práctica estos fenómenos han evolucionado y en muchos casos se representaron a través de la modelación estadístico-matemática, la cual permite describir procesos, realizar análisis cuantitativos detallados, predecir el comportamiento de los objetos en diversas condiciones y desarrollar técnicas que ayudan a establecer estrategias de trabajo para lograr soluciones y producciones óptimas (Fernández, *et al.*, 2019).

En la actualidad, son muchas las investigaciones en la rama agropecuaria donde se utiliza la modelación estadística de diferentes procesos biológicos. Estos estudios generan nuevas estrategias orientadas a incrementar los resultados alcanzados, obtener nuevos conceptos, fortalecer la cooperación y la transferencia de conocimientos (Mejías, 2018).

Sin embargo, en el sector agrario existe una demanda siempre creciente de describir procesos que requieren de la modelación estadístico-matemática, así como de metodologías de trabajo que permitan el desarrollo eficiente de los proyectos de investigación. El análisis del crecimiento de los seres vivos y sus poblaciones es objeto de estudio en muchas investigaciones agropecuarias aplicadas.

Al respecto, Fernández, *et al.* (2019), exponen la evolución en regresiones no lineales y la propuesta de parámetros iniciales a partir de interpretaciones matemático-biológicas de los mismos. Además, reporta diversos ejemplos que van desde los modelos de crecimiento animal y vegetal, el crecimiento alométrico y las curvas de lactancia, entre otros procesos. De igual forma, han sido abordados modelos asociados a evaluaciones y mejoramientos genéticos en bovinos con el empleo del BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) y el uso del pesaje en el día de control. Así mismo, los modelos de crecimiento en pastos (King Grass) para la determinación del momento óptimo del corte (Rodríguez, 2015).

3.2. MODELACIÓN ESTADÍSTICO-MATEMÁTICA EN PROCESOS AGRARIOS

Los avances computacionales de las últimas décadas y el desarrollo de nuevos métodos de cálculo permiten abordar la diversidad de retos que la biología matemática tiene en biología de celdas, neurobiología, genética, biología y genética de poblaciones, ecología, epidemiología, inmunología, biología molecular, estructuras de proteínas y ADN, fluidos biológicos, biología del comportamiento, evolución (León, *et al.*, 2006).

Con la creciente capacidad de las computadoras y la inmensa investigación en el campo de las ciencias de la computación, se otorgan nuevas herramientas para apoyar el proceso de la toma de decisiones en diversas disciplinas y áreas de diseño y manejo de la industria. La modelación y la simulación son unas de las herramientas más importantes e interdisciplinarias (Meira y Guevara, 2000; citados por Rodríguez *et al.*, 2018).

El desarrollo de la modelación estadístico-matemática en procesos agrarios y afines, eleva la calidad de las investigaciones científicas y la introducción en la práctica socio-productiva y la enseñanza en el pregrado y postgrado, lo cual permite saltos cualitativos para el desarrollo de una base de recursos humanos y materiales; y así hacer frente a los retos y perspectivas del país (Fernández, *et al.*, 2019).

En la actualidad, se cuenta con valiosos resultados relacionados con la modelación estadístico-matemática de procesos agrarios, vinculados no solo al estudio del crecimiento animal y vegetal, ya que han sido abordadas otras problemáticas como el crecimiento alométrico (que describe la relación del crecimiento de una parte de un órgano o tejido con respecto a todo el organismo), el cual puede responder al modelo potencial.

La contribución de la Estadística Aplicada a las ciencias agrarias con un enfoque didáctico y de transferencia de conocimientos se visualizan en el trabajo (Fernández-Chuairey *et al.*, 2019). En tal sentido, existe una alta y creciente demanda del empleo de herramientas estadístico-matemáticas, por lo que se desarrollan nuevas estrategias de investigación con vistas a incrementar los resultados alcanzados, generar nuevos conceptos, fortalecer la cooperación y la transferencia de conocimientos.

Los profesionales que asumen estos retos requieren del desarrollo de nuevos modelos, conocimientos sobre algoritmos y de una constante actualización en los procedimientos estadístico-matemáticos de avanzada, metodologías de trabajo y *software* especializados, cuyo uso favorece el análisis y los resultados de las investigaciones y las actividades de innovación que se lleven a cabo.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. MARCO METODOLÓGICO

El estudio es de tipo teórico-experimental, el cual consiste en la elaboración de procedimientos para el análisis de medidas repetidas en el estudio del crecimiento animal.

4.2. UBICACIÓN DEL TRABAJO

El presente estudio se realizó en el Anexo Experimental Quimsachata de la Estación Experimental Agraria Illpa, perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria. Geográficamente se encuentra ubicado en el distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa y región de Puno; a 4 300 msnm. Entre las coordenadas podemos indicar las siguientes: 15º 44’ 00” de latitud sur y 70° 41’ 00” de longitud oeste. La temperatura media es de 7 °C con 40 % de humedad relativa.

4.3. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

El centro cuenta con una extensión de 6 100 hectáreas, de las cuales 5 849.94 ha corresponden a pastos naturales y las mismas están distribuidas en tres sectores: Central Quimsachata, Compuesta Huata y Tincopalca, con una extensión de 1 330.67, 2 439.49 y 2 539.86 hectáreas cada uno. Fisiográficamente, a estos sectores la constituyen cerros, laderas y una mínima extensión de pampas. El Centro de Investigación y Producción (CIP) Quimsachata, según el mapa ecológico del Perú, pertenece a la zona agroecológica de puna seca, caracterizada por dos estaciones bien definidas, lluviosa (diciembre a marzo) y seca (mayo a noviembre).

4.4. VEGETACIÓN NATURAL

Las praderas naturales poseen una composición florística que corresponde a un tipo de pastizales altoandinos. La vegetación está compuesta por pastos naturales que alimentan a las llamas. Los nombres científicos de dicha vegetación son los siguientes: *Mulhenbergia peruviana, Hipochoeris stenocephala*, *Eleocharis albibracteata*, *Trifolium amabile, Festuca dolichophyla, Alchemilla pinnata, Stipa ichu, Calamagrostis vicunaron, Stipa brachyphyla, Parastrephia spp.*, *Margiricarpus pinnatus* y *Mulhenbergia fastigiata*.

4.5. POBLACIÓN DEL ESTUDIO

En el presente trabajo de investigación se ha realizado una evaluación de la curva de crecimiento a través de modelos matemáticos sobre la base de una población de 212 llamas nacidas en el 2015 (154 *k'aras* y 58 *ch'accus*), tal como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3

Distribución de animales para describir las curvas de crecimiento de llamas k'ara y ch'accu con alimentación natural y suplemento reconstituyente

	Ch'accu		*K'ara*		Total
	Machos	Hembras	Machos	Hembras	
Alimentación natural	20	15	54	26	115
Suplementación	13	10	45	29	97
Total	33	25	99	55	212

4.6. METODOLOGÍA

4.6.1. Aplicación de aminoácidos por vía intramuscular

Al grupo experimental se le aplicó una dosis de 5 ml de reconstituyente (Multifort) por vía intramuscular con intervalos de 30 días hasta el primer año de edad.

4.6.2. Pesaje de los animales

Los pesos se han determinado mediante una balanza digital portátil de la marca X Serials, modelo AVS 1500. Para ello, una persona se encargaba de sujetar a cada uno de los animales. Es importante señalar que no se consideró el peso del operario.

4.6.3. Material de observación y medición

Para la evaluación de los modelos matemáticos en el ajuste de curvas del crecimiento en llamas alimentadas naturalmente y con suplemento reconstituyente.

4.7. SISTEMA DE REGISTROS

4.7.1. Para los objetivos 1 y 2

Para la obtención de los datos se realizaron las mediciones desde el nacimiento hasta los 12 meses de edad de las llamas de ambos sexos y razas agrupados de las llamas (*k'ara* y *ch'accu*) alimentadas naturalmente y con suplementados de reconstituyente.

Antes del inicio del experimento, todas las llamas madres fueron dosificadas con antiparasitarios como prevención de enfermedades. La determinación de la edad de la madre se realizó mediante el uso de registros de nacimientos y los datos fueron registrados por una sola persona.

Las variables de estudio a considerarse fueron los siguientes: Al momento del parto se registró el sexo de las crías, edad de la madre y fecha de nacimiento; todo en un cuadernillo de campo. Las crías se pesaron dentro de las 24 horas del nacimiento y permanecieron hasta la edad de los 8 meses en amamantamiento hasta el destete. Las evaluaciones del peso vivo en las crías fueron en la fecha de nacimiento y pesajes cada 30 días de cada mes durante los 12 meses; y el horario de trabajo se estableció desde las 6 a. m. hasta las 11:30 a. m., es decir, una duración de trabajo de un día durante 12 meses. Los pesajes fueron de preferencia para animales en ayuno. Además, se registró el peso vivo y el sexo de las llamas destetadas de ambos tipos (8 meses). A los animales del T1 (grupo experimental) se les aplicó por vía intramuscular 5 ml de reconstituyente (Multifort) cada 30 días hasta el primer año de edad; y con el grupo T2 (testigo), su manejo fue convencional sin aplicación de ningún producto. Los pesos se registraron cada 30 días, desde el nacimiento hasta el primer año de edad. Las variables de estudio para patrón de curvas de crecimiento como son el peso vivo en kg, la edad de la cría y los datos del suplemento reconstituyente.

4.8. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para los modelos no lineales se utilizó la siguiente relación: Edad-peso vivo. Del mismo modo, se emplearon los modelos Logístico, Von Bertalanffy, Gompertz y Brody. Para realizar el ajuste de los modelos matemáticos se aplicó el procedimiento iterativo de estimación de los parámetros de Levenberg-Marquardt. Además, se prefijó la convergencia de la suma de cuadrados del error y de los parámetros como lxe-8 mediante el comando regresión del SAS versión 9.4.

Para el análisis de la bondad de ajuste y la selección de los mejores modelos se utilizaron los criterios estadísticos publicados por Carneiro *et al.* (2009):

1. Coeficiente de determinación R^2 y R^2 ajustado.
2. Cuadrado medio de error (CME).
3. Criterio de información de Akaike (AIC).
4. Criterio de información bayesiano (BIC).

Para el procesamiento estadístico se utilizó el programa SAS versión 9.4.

Tabla 4

Ecuaciones de los modelos no lineales utilizados para describir la curva de crecimiento de llamas k'ara y ch'accu

Modelo	Fórmula
Brody	$y = A(1 - Be^{-kt}) + \varepsilon$
Von Bertalanffy	$y = A(1 - Be^{-kt})^3 + \varepsilon$
Logístico	$y = A(1 + e^{-kt})^{-m} + \varepsilon$
Gompertz	$y = Ae^{Be(-kt)} + \varepsilon$

Nota. Reproducida de "*Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambrina, criados na caatinga*", por P. L. Carneiro, C. H. Malhado, P. R. A. Affonso y D. Pereira, 2009, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (AGRIS). Disponible en:* https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR2012500207. Es de dominio público.

Donde: “A” es el peso corporal (kg) asintótico pronosticado. “B” es la proporción del peso asintótico maduro obtenido después del nacimiento. Y “k” es la tasa de maduración.

Para evaluar la influencia de los efectos ambientales (sexo de la cría, edad de la madre, mes de nacimiento, variedad de la llama y efecto del suplemento) se utilizó un diseño completamente al azar, cuyo modelo fue el siguiente:

Para el peso en el nacimiento:

$$y_{ijklm} = u + S_i + E_j + M_k + V_l + SE_{ij} + SV_{il} + EM_{jk} + EV_{jl} + MV_{kl} + SMV_{ikl} + e_{ijklm}$$

Donde:

y_{ijklm} = Es el peso en el nacimiento.
u = Es el promedio general.
S_i = Es el efecto del sexo de la cría.
E_j = Es el efecto de la edad de la madre.
M_k = Es el efecto del mes de nacimiento de la cría.
V_l = Es el efecto de la variedad de la llama.
SE_{ij} = Es la interacción entre sexo de la cría y edad de la madre.
SV_{il} = Es la interacción entre sexo de la cría y variedad de la llama.
EM_{jk} = Es la interacción entre edad de la madre y mes de nacimiento de la cría.
EV_{jl} = Es la interacción entre edad de la madre y variedad de la llama.
MV_{kl} = Es la interacción entre mes de nacimiento de la cría y variedad de la llama.
SMV_{ikl} = Es la interacción entre sexo de la cría, mes de nacimiento y variedad de la llama.
e_{ijklm} = Es el error experimental del modelo.

Para el peso en el destete:

$y_{ijklmn} = u + S_i + E_j + M_k + V_l + G_{m +} SE_{ij} + SM_{ik} + SV_{il} + SG_{im +} EV_{jl} + EG_{im +} MV_{kl} + MG_{km} + VG_{lm} + SMV_{ikl} + SVG_{ilm} + e_{ijklmn}$

Donde:

y_{ijklmn} = Es el peso en el nacimiento.
u = Es el promedio general.
S_i = Es el efecto del sexo de la cría.
E_j = Es el efecto de la edad de la madre.
M_k = Es el efecto del mes de nacimiento de la cría.
V_l = Es el efecto de la variedad de la llama.
G_m = Es el efecto del grupo experimental.
SE_{ij} = Es la interacción entre sexo de la cría y edad de la madre.
SM_{ik} = Es la interacción entre sexo de la cría y mes de nacimiento.
SV_{il} = Es la interacción entre sexo de la cría y variedad de la llama.
SG_{im} = Es la interacción entre sexo de la cría y grupo experimental.
EV_{jl} = Es la interacción entre edad de la madre y variedad de la llama.
EG_{im} = Es la interacción entre edad de la madre y grupo experimental.
MG_{km} = Es la interacción entre mes de nacimiento y grupo experimental.
MV_{kl} = Es la interacción entre mes de nacimiento de la cría y variedad de la llama.
VG_{lm} = Es la interacción entre variedad de la llama y grupo experimental.
SMV_{ikl} = Es la interacción entre sexo de la cría, mes de nacimiento y variedad de la llama.
SVG_{ilm} = Es la interacción entre sexo de la cría, variedad de la llama y grupo experimental.
e_{ijklmn} = Es el error experimental del modelo.

Para el peso en el primer año de edad:

$y_{ijklm} = u + S_i + M_j + V_k + G_{l+} SM_{ik} + SV_{il} + SG_{im +} MV_{kl} + MG_{km} + VG_{lm} + SMV_{ikl} + SMG_{ijl} + MVG_{jkl} + e_{ijklm}$

Donde:

y_{ijklm} = Es el peso en el nacimiento.
u = Es el promedio general.
S_i = Es el efecto del sexo de la cría.
M_k = Es el efecto del mes de nacimiento de la cría.
V_l = Es el efecto de la variedad de la llama.
G_m = Es el efecto del grupo experimental.
SM_{ik} = Es la interacción entre sexo de la cría y mes de nacimiento.
SV_{il} = Es la interacción entre sexo de la cría y variedad de la llama.
SG_{im} = Es la interacción entre sexo de la cría y grupo experimental.
MV_{kl} = Es la interacción entre mes de nacimiento de la cría y variedad de la llama.
MG_{km} = Es la interacción entre mes de nacimiento y grupo experimental.
VG_{lm} = Es la interacción entre variedad de la llama y grupo experimental.
SMV_{ikl}= Es la interacción entre sexo de la cría, mes de nacimiento y variedad de la llama.
SMG_{ilm}= Es la interacción entre sexo de la cría, mes de nacimiento y grupo experimental.
MVG_{jkl}= Es la interacción entre mes de nacimiento de la cría, variedad de la llama y grupo experimental.
e_{ijklm} = Es el error experimental del modelo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. EVALUACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO EN LLAMAS *K'ARA* Y *CH'ACCU*

En la Tabla 5 se presentaron valores de diferentes criterios de bondad de ajuste, representados por el coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio de error (CME), criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC), donde los resultados de los modelos reflejaron una mejor capacidad de ajuste para la mayoría de las funciones matemáticas, donde se evidenciaron, coeficiente de determinación (R^2), los valores fueron fluctuaron entre 77,77 % a 79,86 %; según los criterios de ajustes adicionales, el modelo Brody reflejó una mejor capacidad de ajuste en las llamas *ch'accu* con un coeficiente de determinación (R^2) que alcanzó un 78,58 %; cuadrado medio de error (CME) con valo de 423; según el criterio de información Akaike (AIC) se obtuvo un valor menor de 5 005; y según el criterio de información bayesiano (BIC), se obtuvo un resultado de 1 587. En consecuencia, dichos resultados se consideraron menores valores.

Con respecto a las evaluaciones para las llamas *k'ara*, se obtuvieron similares resultados: según el coeficiente de determinación (R^2) se alcanzó un 79,86 %; según el cuadrado medio de error (CME) se obtuvo un resultado de 799; según el criterio de información Akaike (AIC) se obtuvo un resultado de 15 100; y según el criterio de información bayesiano (BIC) se obtuvo un resultado de 4 457. Dichos valores evidenciaron una mejor capacidad de ajuste frente a otros modelos. Además, se evidencia que el modelo Brody demostró un mejor ajuste.

Sin embargo, es de destacar que los modelos Von Bertalanffy y Gompertz también evidenciaron buenos ajustes (R^2: 78,31 a 78,12; AIC: 5 024 a 5 029) en llamas *ch'accu*; y (R^2: 79,69 a 79,51; AIC: 15 128 a 15 139) en llamas *k'ara*. Por lo tanto, las

tres funciones matemáticas podrían utilizarse para predecir el crecimiento en ambos tipos de llamas.

Tabla 5

Parámetros para la elección del mejor modelo de ajuste del peso en crías de llamas k'ara y ch'accu

Modelo	R^2	R^2aj	CME	AIC	BIC
Ch'accu					
Brody	78,58	78,54	423	5005	1587
Von Bertalanffy	78,31	78,23	429	5024	1603
Logístico	77,77	77,69	439	5038	1617
Gompertz	78,12	78,04	433	5029	1608
K'ara					
Brody	79,86	79,85	799	15100	4457
Von Bertalanffy	79,69	79.63	807	15128	4481
Logístico	79,22	79,19	825	15159	4513
Gompertz	79,51	79,48	813	15139	4492

Nota. Parámetros biológicos de modelos matemáticos no lineales.

En la Tabla 6 se presentaron parámetros de los modelos de regresión no lineales, donde los estimados del parámetro (A), a través de los modelos Brody y Von Bertalanffy, reflejaron mayores valores en las llamas *k'ara* y *ch'accu* frente a los otros modelos Logístico y Gompertz, los cuales demostraron menores valores.

Se revela que los modelos Brody y Von Bertalanffy demostraron un mayor valor para las llamas *k'ara* frente a las llamas *ch'accu* en el parámetro de estimativa de peso a la madurez (A), siendo estos los valores del peso de madurez asintótica y cuyos resultados alcanzaron: 40,64 ± 0,61 kg en las llamas *k'ara*; y 38,11 ± 1,06 kg en las llamas *ch'accu*.

Según el parámetro de estimativa de precocidad a la madurez (K), los modelos Brody y Von Bertalanffy exhibieron menores valores frente a los otros modelos Logístico y Gompertz, ya que estos últimos exhibieron mayores valores en el índice de crecimiento, índice de madurez y en el peso de madurez asintótica.

El parámetro elevado (K) presenta madurez precoz en comparación con individuos de valores más bajos que K. Las tasas de crecimiento expresadas en gramos están dentro del modelo Brody, donde son ligeramente mayores para las llamas *k'ara* (0.0067 ± 0.0003) que para las llamas *ch'accu* (0.0061 ± 0,0005).

Estos resultados indican ligeras diferencias, con las que se deduce que las llamas *k'ara* tendrían mayor índice de crecimiento frente a las llamas *ch'accu*, alcanzando la misma edad, pero con un peso adulto diferente. Sin embargo, se observa que los diferentes parámetros de las curvas de crecimiento son similares para ambas razas dentro de cada modelo. En tal sentido, las menores tasas de K corresponden a mayores valores de A en los modelos Brody y Von Bertalanffy frente a los modelos Logístico y Gompertz, que evidenciaron un valor elevado en el índice de crecimiento y en la tasa de madurez; y un bajo peso asintótico (A) en ambas razas.

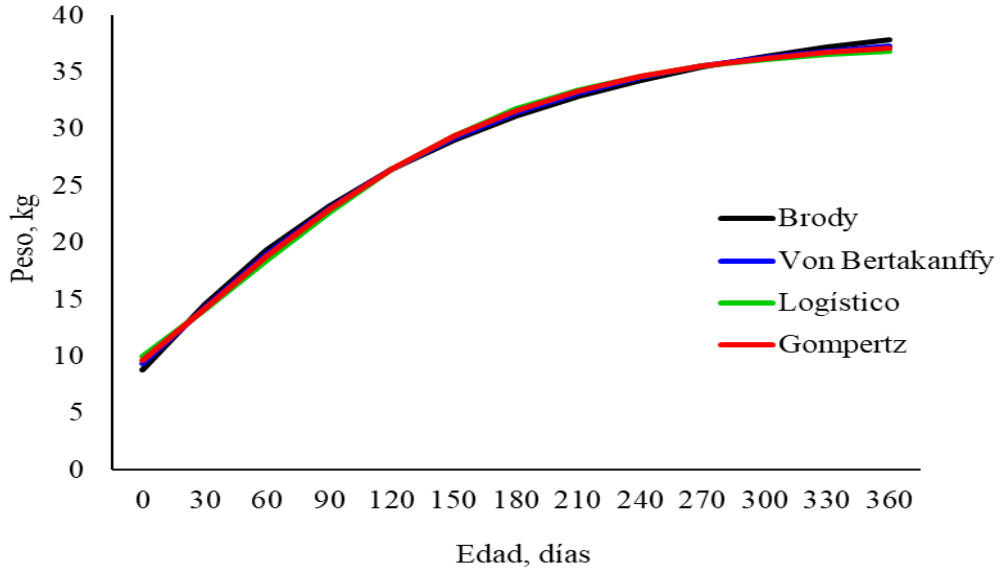
Tabla 6

Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en llamas k'ara y ch'accu

Modelo	A ± EE		B ± EE		K ± EE	
	K'ara	*Ch'accu*	*K'ara*	*Ch'accu*	*K'ara*	*Ch'accu*
Brody	40,64 ± 0,613	38,11 ± 1,063	0,783 ± 0,072	0,763 ± 0,0115	0,0067 ± 0,00031	0,0061 ± 0,000513
Logístico	37,37 ± 0,344	34,89 ± 0,598			0,0134 ± 0,00042	0,0123 ± 0,000679
Von Bertalanffy	38,67 ± 0,439	36,20 ± 0,760	0,376 ± 0,0059	0,359 ± 0,0091	0,0096 ± 0,00036	0,00873 ± 0,00059
Gompertz	38,06 ± 0,320	35,60 ± 0,677	-1,3729	-1,295 ± 0,004	0,0111 ± 0,00039	0,0100 ± 0,00063

Figura 1

Curvas de crecimiento en llamas k'ara desde el nacimiento hasta el primer año de edad

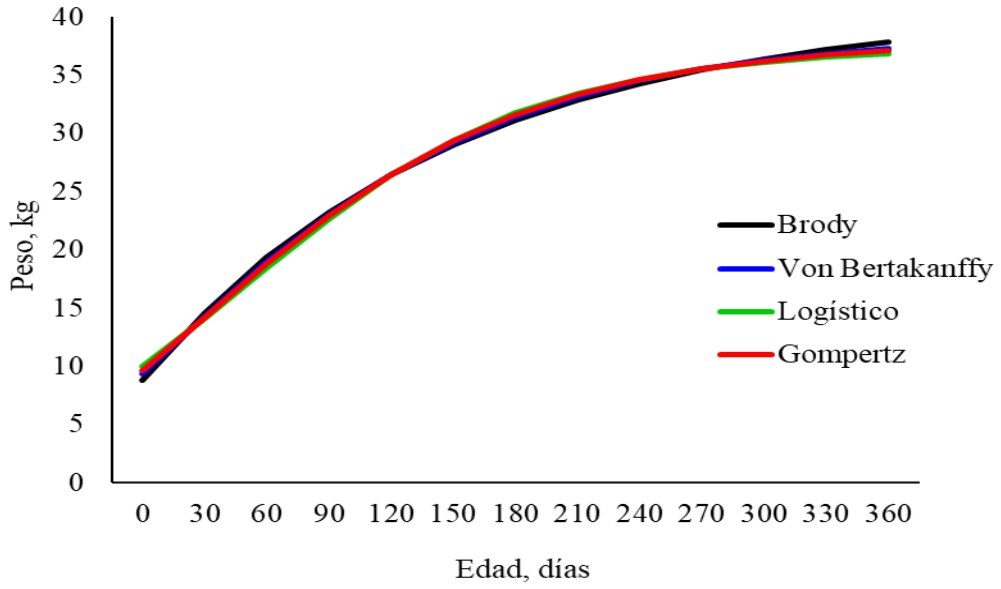


En la Figura 1 se aprecia en la curva de crecimiento un aumento de masa corporal para las llamas *k'ara*. Además, se observa la diferencia en el peso asintótico frente al modelo Von Bertalanffy; así como, divisiones en dos segmentos, la primera

presenta una pendiente creciente; y la segunda, una menor pendiente en los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz.

Figura 2

Curvas de crecimiento en llamas ch'accu desde el nacimiento hasta el primer año de edad



En la Figura 2 se aprecia que los modelos no lineales Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico describen una evolución en el peso según las curvas de crecimiento en las llamas *ch'accu*, desde el nacimiento hasta el primer año de edad, que es donde se alcanza un mayor peso asintótico en comparación a los otros modelos.

5.2. MODELO DE AJUSTE PARA MACHOS Y HEMBRAS

Los modelos utilizados independientemente del sexo de la llama proporcionan una buena calidad de ajuste en el modelo Brody y Von Bertalaffy con relación a los pesos para ambos sexos, indicando que los machos alcanzan la madurez en edades más precoces que las hembras. Sin embargo, las hembras con tasa de crecimiento tardío logran mayor tendencia en el parámetro de estimativa de peso a la madurez.

Según los estudios sobre criterios de evaluación de modelos de regresión no lineal en llamas de ambos sexos, los valores del coeficiente de determinación (R^2) y del criterio de información Akaike (AIC) reflejan que el modelo que mejor se ajusta es el modelo Brody.

Se utilizó el modelo matemático no lineal de Brody para explicar el crecimiento de las llamas machos y hembras desde nacimiento hasta el primer año de edad, ya que según el criterio de información Akaike (AIC), los valores fueron 12 778 y 7 260 para machos y hembras, respectivamente; en comparación a las otras funciones matemáticas. Así mismo, según el criterio de información bayesiano (BIC), los valores fueron 2 239 y 3 896); según el cuadrado medio de error (CME), los valores fueron 592 y 835. Además, se observó que mediante el coeficiente de determinación (R^2), los tres modelos estadísticos demostraron calidad de ajuste con valores entre 82,12 % y 78,84 % para machos y hembras, respectivamente.

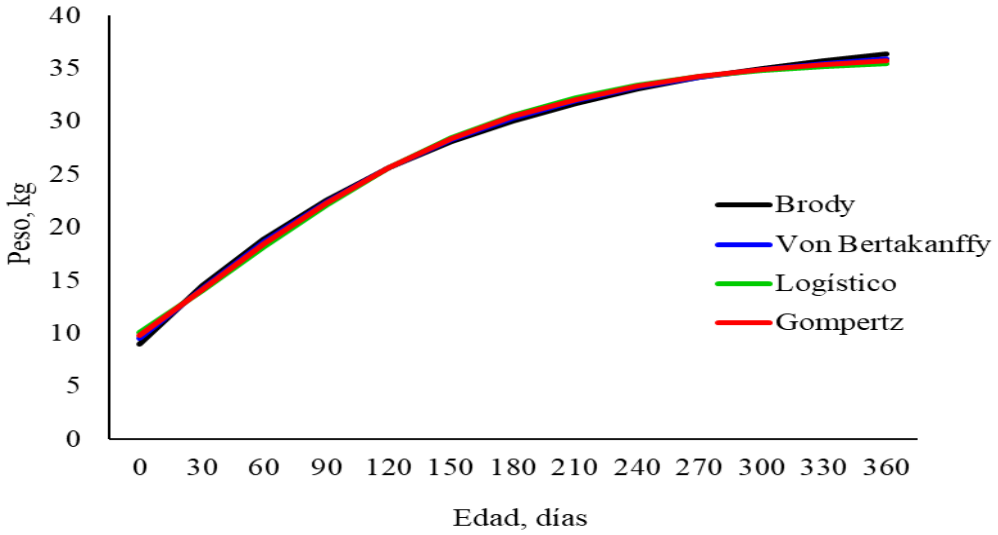
Tabla 7

Parámetros para la elección del mejor modelo de ajuste del peso en crías de llamas machos y hembras

Modelo	R^2	R^2aj	CME	AIC	BIC
Machos					
Brody	76,84	76,80	789	12 778	3 896
Von Bertalanffy	76,60	76,56	797	12 791	3 909
Logístico	76,13	76,09	813	12 816	3 934
Gompertz	76,43	76,39	803	12 800	3 918
Hembras					
Brody	82,12	82,08	512	7 266	2 239
Von Bertalanffy	81,90	81,85	519	7 275	2 248
Logístico	81,45	81,40	532	7 294	2 267
Gompertz	81,74	81,69	523	7 282	2 255

Figura 3

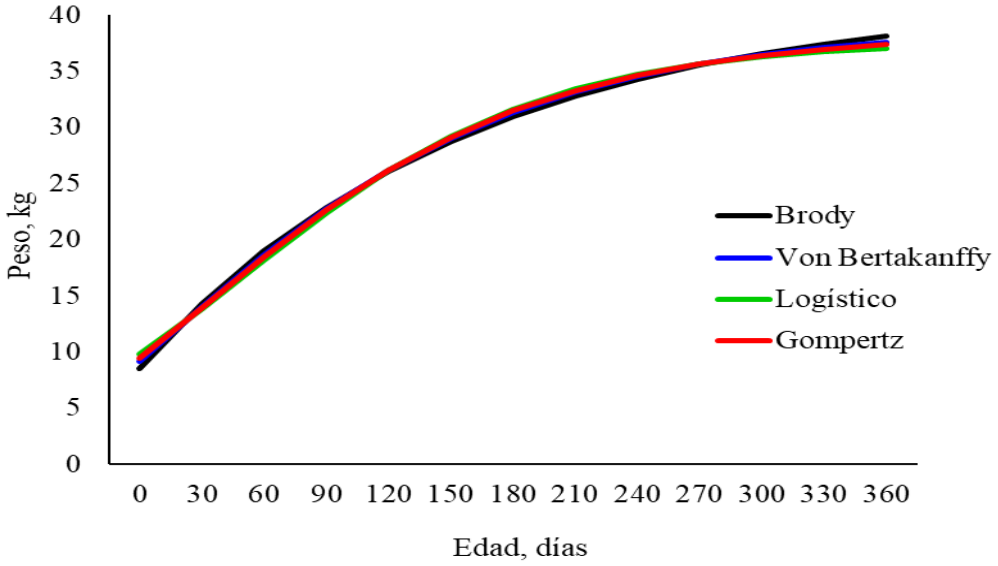
Curvas de crecimiento en llamas machos desde el nacimiento hasta el primer año de edad



En la Figura 3 se observan las curvas de crecimiento en las llamas machos, según los modelos Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico; además, se aprecia una curva sigmoidea con mejor capacidad de ajuste según el modelo Brody.

Figura 4

Curvas de crecimiento en llamas hembras desde nacimiento hasta el primer año de edad



En la Figura 4 se observan las curvas de crecimiento en las llamas hembras, según los modelos Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico; además, se exhibe una curva sigmoidea con mejor capacidad de ajuste en el modelo Brody, seguido del modelo Von Bertalanffy. Del mismo modo, parámetros de interpretación biológica reflejan una mayor capacidad de la estimativa del peso adulto en la madurez. Asimismo, se evidencia que las llamas machos y hembras tienen patrones de crecimiento idénticos; y una mayor capacidad de ajuste del sistema de crecimiento a los modelos matemáticos.

5.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS SEGÚN EL SEXO

En Tabla 8 se evidencia que el modelo Brody, en las llamas machos, demostró un peso adulto asintótico (A) de 39,03 kg, cuyo valor es inferior en comparación a las hembras, cuyo peso adulto asintótico (A) obtenido fue de 41,37 kg.

Así mismo, se observó una ligera superioridad de crecimiento (K) que se obtuvo para el caso de los machos con un valor de 0,00672 ± 0,00037 y en el caso de las hembras se obtuvo un valor de 0,00664 ± 0,0004; lo que es indicativo de una ligera velocidad de crecimiento, tasa de madurez y cierta precocidad en el caso de los machos de los machos frente a las hembras.

Tabla 8

Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en crías de llamas machos y hembras

Modelo	A ± EE		B ± EE		K ± EE	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembra
Brody	39,03 ± 0,680	41,37 ± 0,869	0,7695 ± 0,008	0,7931 ± 0,0091	0,00672 ± 0,00034.	0,00664 ± 0,0004
Von Bertalanffy	37,26 ± 0,493	39,13 ± 0,607	0,3655 ± 0,007	0,3829 ± 0,0077	0,00950 ± 0,00043	0,00932 ± 0,0005
Logístico	38,03 ± 0,387	37,69 ± 0,408			0,0132 ± 0,00049	0,01310 ± 0,0005
Gompertz	36,70 ± 0,445	38,45 ± 0,539	-1,3228 ± 0,030	-1,3999 ± 0,030	0,0109 ± 0,00046	0,01080 ± 0,0005

Se observa que los diferentes parámetros de las curvas de crecimiento son casi similares para ambos sexos dentro de cada modelo. Las menores tasas de K corresponden a mayores valores de A en los machos, específicamente en los modelos Brody y Von Bertalanffy. Sin embargo, mayores tasas de K corresponden a menores valores de A en los modelos Logístico y Gompertz.

Además, se deduce a partir de estos valores similares que los modelos con un valor elevado de K, en las llamas de ambos razas, tienen menores probabilidades de alcanzar pesos elevados en la edad adulta en comparación con los modelos con menores valores de K, es decir, Brody y Von Bertalanffy. Por ende, tiene una mayor probabilidad de alcanzar un peso maduro en la edad adulta y con similares pesos iniciales en las edades tardías.

5.4. EVALUACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO EN LLAMAS CON ALIMENTACIÓN NATURAL Y SUPLEMENTO

5.4.1. Suplementación

Los valores de los cuadrados medios de error (CME) de los residuos, los coeficientes de determinación (R^2) y el criterio de información de Akaike (AIC) de los modelos están presentados en la Tabla 9.

Los modelos no lineales de mejor capacidad de ajuste fue el modelo Brody, independiente del régimen de alimentación natural y suplemento, según el coeficiente de determinación (R^2), los valores variaron entre 81,71 % y 77,71 %.

Así mismo, mediante el criterio de información Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC), se evidenciaron valores menores de 9 764 y 10 091 en ambos grupos, o sea, se trata de un indicativo de mejor capacidad de ajuste para ambos grupos. La curva de crecimiento observada en la Figura 8 también evidencia la capacidad de ajuste correspondiente al suministro reconstituyentes.

Tabla 9

Parámetros de ajuste de los modelos no lineales en llamas en condiciones de suplementación (experimental) y llamas con alimentación natural (testigo)

Modelo	R^2	R^2aj	CME	AIC	BIC
Grupo con suplementación					
Brody	77,71	77,66	728	9764	3084
Von Bertalanffy	77,52	77,48	734	9772	3092
Logístico	77,12	77,07	748	9790	3110
Gompertz	77,38	77,34	739	9778	3098
Grupo con alimentación natural					
Brody	81,71	81,69	537	10091	2924
Von Bertalanffy	81,41	81,38	546	10121	2950
Logístico	80,87	80,83	562	10150	2980
Gompertz	81,22	81,18	552	10132	2961

Teniendo en cuenta la base teórica, independientemente del modelo estimado maduro (A), fue mayor para el grupo con suplementación que para el grupo con alimentación natural. Dicha información está verificada en el modelo Brody, cuyos valores son: 40 3575 kg y 39 7985 kg. Sin embargo, los valores estimados para otros modelos, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico, fueron menores, tal como se observa en la Tabla 10.

Según las evaluaciones de parámetros de interpretación biológica en llamas con suplementación, se observó una mayor velocidad de crecimiento (K = 0,0072 g), alcanzando un peso adulto superior en comparación al grupo con alimentación natural (K = 0,0059 g). Es evidente la mejora en la tasa de crecimiento, tal como se observa en la Figura 10. Cuanto mayor es el valor de K, más rápidamente va a alcanzar su peso adulto. En animales con alto valor de K presentan una madurez precoz en comparación con aquellos con un bajo valor de K. Por lo tanto, se puede apreciar que la suplementación mejora en sus parámetros y tasas de crecimiento.

Tabla 10

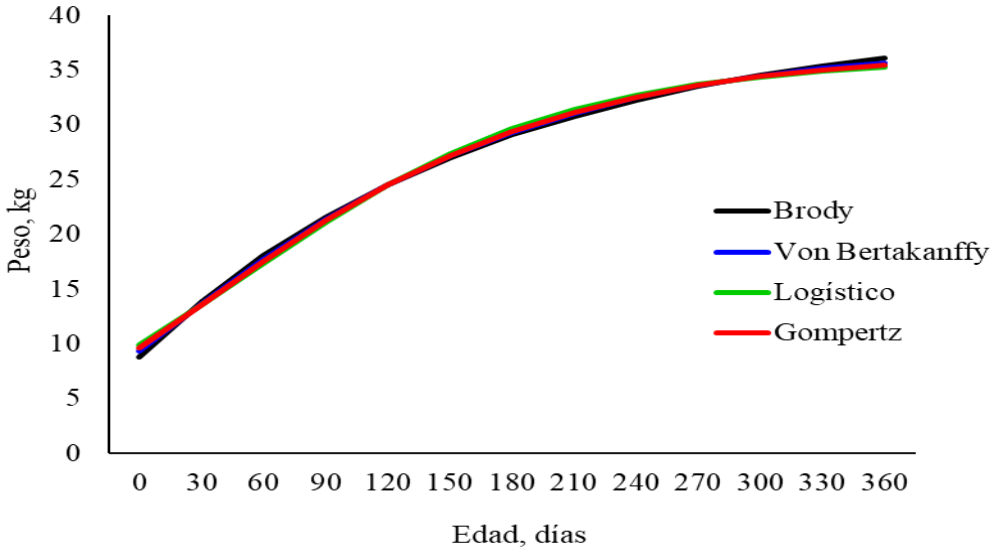
Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en llamas en condiciones de suplementación (experimental) y llamas con alimentación natural (testigo)

Modelo	A ± EE		B ± EE		K ± EE	
	Experimental	Testigo	Experimental	Testigo	Experimental	Testigo
Brody	40,34 ± 0,717	39,79 ± 0,792	0,7783 ± 0,0097	0,7777 ± 0,007	0,0072 ± 0,00042	0,00589 ± 0,00034
Von Bertalanffy	38,64 ± 0,528	37,53 ± 0,550	0,3733 ± 0,007	0,3705 ± 0,006	0,0102 ± 0,0005	0,00859 ± 0,00039
Logístico	37,47 ± 0,419	36,05 ± 0,418			0,0140 ± 0,0006	0,01220 ± 0,00045
Gompertz	38,10 ± 0,476	36,84 ± 0,486	-1,357 ± 0,035	-1,343 ± 0,027	0,0011 ± 0,0005	0,00993 ± 0,00041

Además de los criterios matemáticos que permiten determinar cuál es la capacidad de ajuste de un modelo frente a otro, es necesario considerar parámetros de interpretación que tengan coherencia con los parámetros biológicos de índices productivos para cada especie animal. Este criterio de evaluación depende del conocimiento que tenga el investigador sobre fenómeno biológico.

Figura 5

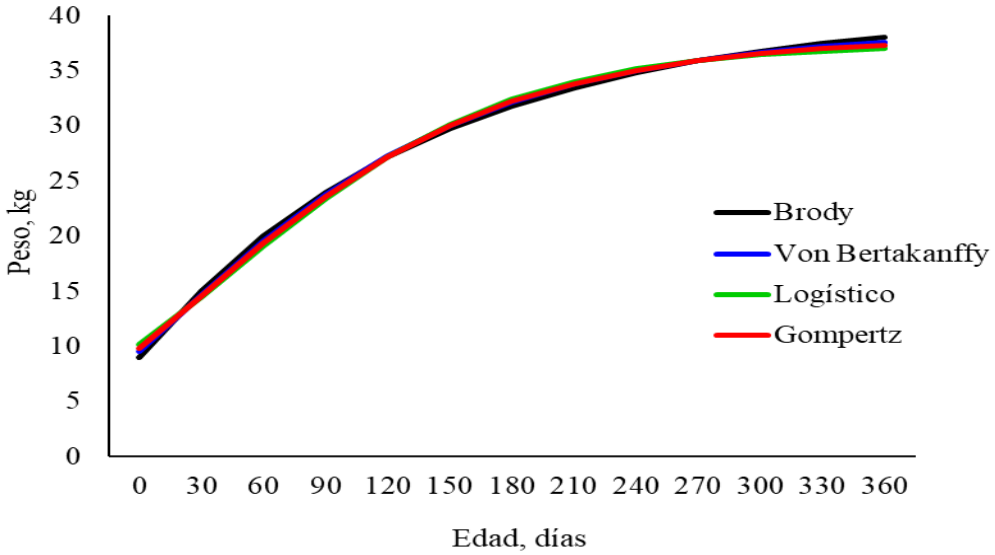
Curvas de crecimiento en llamas con suplementación



En la Figura 5 se observa la evolución del peso vivo en función a la edad. Del mismo modo, una mejor expresión genética en las estaciones de invierno o épocas críticas de alimentación, las cuales coinciden con el destete, ya que es necesario suplementar a las llamas con el fin de mantener un ritmo acelerado de crecimiento.

Figura 6

Curvas de crecimiento en llamas sin suplementación



En la Figura 6 se observa la evolución del peso en función a la edad, afectada en las épocas críticas de la puna seca, incidiendo en el peso adulto y en la velocidad de crecimiento. Por lo tanto, va a depender de la aplicación de diferentes programas de alimentación, a fin de evitar un retardo o paralización del crecimiento durante el periodo invernal, ya que puede ser un factor sumamente negativo en la producción de llamas, específicamente en aquellas situaciones donde se busca que los animales lleguen rápidamente a la faena con alto rendimiento en el caso de los machos; y en el caso de las hembras, rapidez para el estado reproductivo.

Se observa, además, una falta de coherencia biológica, porque la estimativa del peso adulto en la madurez es menor a los reportes de otros autores, donde las llamas alcanzan su peso adulto a los 4 y 5 años, es decir, entre 142 y 110 kg de peso vivo.

5.5. EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RAZA, SEXO, EDAD DE LA MADRE Y ÉPOCA DEL PARTO

El crecimiento es un fenómeno complejo que es afectado por diferentes factores a lo largo del proceso. Estos factores pueden ser inherentes al animal, como su genotipo; o ajenos a este, como su alimentación, manejo, estado de salud, climatología, entre otros *(*Agudelo *et al.*, 2008).

5.5.1. Factor raza

Los promedios de los pesos alcanzados en el nacimiento fueron en las llamas *k'ara* se obtuvo 8,6 ± 1,15 kg; y en las llamas *ch'accu* se obtuvo 8.56 ± 1,4 kg. Por ende, no se encontraron diferencias ($p \geq 0,05$). El factor raza no influyó sobre el peso en el nacimiento. Asimismo, los promedios del peso en el destete fueron: en las llamas *k'ara* se obtuvo 33,07 ± 5,18 kg; y en las llamas *ch'accu* se obtuvo 30,72 ± 5,69 kg. Por ende, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$). Sin embargo, se obtuvieron evidencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre razas cuyos promedios alcanzados fueron 38,75 ± 5,5 kg en las llamas *k'ara* y 36,03 ± 5,17 kg en las llamas *ch'accu*.

Tabla 11

Promedios alcanzados por las crías según la raza de las llamas

Clase	*K'ara*		*Ch'accu*	
	n.º	Prom. Ds.	n.º	Prom. Ds.
Nacimiento	154	8,66 ± 1,51[a]	58	8,56 ± 1,40[a]
Destete	99	33,07 ± 5,18[a]	37	30,72 ± 5,69[a]
Año	97	38,75 ± 5,52[a]	40	36,03 ± 5,17[b]

5.5.2. Factor sexo

En la Tabla 12 se observa el promedio general del peso vivo en el nacimiento, el cual fue de 8,63 ± 1,47 kg. No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ambos sexos. Asimismo, el factor sexo no afectó al peso en el destete, cuyos promedios alcanzados fueron: 32,37 ± 5,12 kg para los machos; y 32,53 ± 5,88 kg para las hembras. También se observó la similitud entre ambos sexos con relación al peso en el primer año de edad: 37,96 ± 5,87 kg para los machos; y 38,91 ± 4,81 kg para las hembras; en las llamas *k'ara* y *ch'accu*.

Tabla 12

Promedios del peso vivo (kg) en el nacimiento según el sexo de las llamas

Clase	Macho		Hembra	
	n.º	Prom. Ds.	n.º	Prom. Ds.
Nacimiento	132	8,73 ± 1,59[a]	80	8,48 ± 1,26[a]
Destete	83	32,37 ± 5,12[a]	53	32,53 ± 5,88[a]
Año	88	37,96 ± 5,87[a]	49	38,91 ± 4,81[a]

5.5.3. Factor edad de la madre

En la Tabla 13 se observa el análisis estadístico de la edad de la madre, por lo tanto, se demostró que el factor edad de la madre influyó significativamente sobre el peso en el nacimiento ($p \leq 0,05$). Asimismo, las madres de 7 y 9 años de edad son las que dan partos de crías más pesadas en el nacimiento en comparación a las madres de 4 años que dan crías con un menor peso.

Tabla 13

Promedios del peso vivo (kg) en el nacimiento según las edades de las llamas madres

Edad de la madre	Nacimiento		Destete	
(años)	n.º	Prom. DS.	n.º	Prom. DS:
3	42	8,00 ± 1.20	-----	
4	15	7,87 ± 1.08	25	31,53 ± 6,01
5	39	9,03 ± 1.40	12	32,91 ± 6,34
6	38	8,55 ± 1.34	29	32,00 ± 4,90
7	25	9,18 ± 1.76	25	33,14 ± 4,69
8	21	8,40 ± 1.03	12	31,93 ± 4,71
9	32	9,17 ± 1.77	14	32,37 ± 4,92
10	-----		19	33,40 ± 6,73

Las llamas, suplementadas con reconstituyentes en periodos críticos y en la edad del destete, alcanzaron mejores pesos con 38,67 ± 5,83 kg; y las llamas, sin suplementación, alcanzaron 37,41 ± 5,28 kg. Hubo evidencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) para la suplementación.

Tabla 14

Peso promedio (kg) en llamas con alimentación natural y suplementación

Clase	Alimentación natural		Suplementación	
	n.º	Prom. Ds.	n.º	Prom. Ds.
Destete	70	31,23 ± 4,87[b]	66	33,71 ± 5,68 [a]
Año	77	37,41 ± 5,28[a]	60	38,67 ± 5,83[a]

5.5.4. Factor época del parto

En el análisis estadístico sobre la época del nacimiento de las crías y el destete, se encontró un efecto significativo ($p \leq 0,05$), es decir, las crías que nacen en el mes de enero son las que llegaron con mayor peso al destete en comparación a las que nacen en febrero y marzo, ya que presentaron menores pesos en el destete.

Tabla 15

Promedio del peso vivo (kg) en comparación con el mes de nacimiento, destete y año

Mes	Nacimiento		Destete		Año	
	n.º	Prom. Ds.	n.º	Prom. Ds.	n.º	Prom. Ds.
Enero	46	8,61 ± 1,11[a]	15	38,15 ± 5,25[a]		
Febrero	118	8,54 ± 1,47[a]	89	32,37 ± 4,96[a]	94	39,19 ± 5,09
Marzo	48	8,90 ± 1,77	32	29,92 ± 4,75[a]	43	35,27 ± 5,59

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1. BONDAD DE AJUSTE PARA MODELOS EN LLAMAS *K'ARA* Y *CH'ACCU*

Según las evaluaciones de los pesos en función a la edad de las llamas *k'ara* y *ch'accu*, se evidenciaron de acuerdo a los criterios de información estadística una mejor capacidad de ajuste para los modelos Von Bertalanffy, Brody, Gompertz y Logístico; por ende, según los valores del coeficiente de determinación (R^2), se obtuvo un resultado entre 71,77 % y 79,86 %, con pequeñas variaciones. Esto evidenció la buena capacidad de ajuste para la predicción del crecimiento en llamas; especialmente los modelos Brody y Von Bertalanffy, cuyos resultados congruentes fueron encontrados por Canaza-Cayo *et al.* (2015) en llamas, Lopes *et al.* (2012) en el ganado vacuno de la raza Nelore, Costa *et al.* (2012) en corderos, y Nogales *et al.* (2014) en el ganado bovino marismeño, los cuales refieren a los modelos Brody y Von Bertalanffy como los de mejor ajuste. Así mismo, Apaza y Quispe (2016), afirman que el modelo de regresión no lineal Brody tiene mejor capacidad de ajuste.

Según el análisis complementario mediante criterios de evaluación como el cuadrado medio del error (CME), conlleva a elegir el modelo que refleje el menor valor. En los resultados obtenidos se concluye que los modelos Brody y Von Bertalanffy son los que posee menor valor (CME) en ambas razas. Varios autores corroboran esta información en sus respectivos reportes: Carneiro *et al.* (2009), Costa *et al.* (2012), Nogales *et al.* (2014) y Posada *et al.* (2011), quienes afirmaron de manera similar cuando analizan los mismos modelos de crecimiento en diferentes especies de animales domésticos.

Sin embargo, no deben considerarse estos parámetros aisladamente, ya que es necesario evaluar en conjunto para decidir cuál es el mejor modelo de ajuste. En tal sentido, ante la similitud de coeficiente de determinación (R^2), en los cuatro modelos

evaluados, recurrimos al criterio de información Akaike (AIC) y criterio de información bayesiano (BIC), los cuales reflejaron mejores valores para estos parámetros en los modelos Brody y Von Bertalanffy, que serían los modelos que mejor explican el crecimiento en las llamas *k'ara* y *ch'accu*.

6.2. AJUSTE A LAS CURVAS DE CRECIMIENTO

Varias son las investigaciones que reportan el ajuste de modelos no lineales como Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logística a datos empíricos con un alto grado de satisfacción en diferentes especies de animales domésticos (Domínguez-Viveros *et al.*, 2014; Lopes *et al.*, 2012; Posada *et al.*, 2011). Estos modelos matemáticos presentan parámetros de interpretación biológica.

Según Posada *et al.* (2011), el modelo Brody tuvo mejor ajuste con los datos empíricos y, además de presentar buen ajuste matemático, registró una mayor coherencia biológica en el peso maduro estimado, tomando en consideración los pesos adultos reportados por Vaca (2003). Según este autor, las vacas adultas de la raza Nelore pueden llegar a pesar 800 kg, mientras que los toros sobrepasan con facilidad los 1 000 kg. Asimismo, es posible observar que el peso a la madurez es después del peso al sacrificio; por lo tanto, los modelos de crecimiento resultan válidos como alternativa para su predicción y de importancia en los programas de mejoramiento genético.

Independientemente del modelo, la estimativa del peso maduro (parámetro A) fue mayor para las llamas *k'ara* en comparación a las *ch'accu*. Con relación a los sexos, las hembras lograron valores mayores en todos los casos, en comparación a los machos. El mayor valor de A fue verificado en el modelo Brody para machos y hembras; además los resultados similares demuestran un buen ajuste en todos los modelos, a excepción de Logística. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Brown *et al.* (1976). En estos estudios, el modelo Brody presentó las mayores estimativas del peso asintótico y similitud con el modelo Logístico, osea, valores consistentemente por debajo de los demás modelos evaluados. Chauca (1997), quien reportó que el peso adulto de los cuyes mejorados debe oscilar entre 1 100 a 1 300 gramos a las 13 semanas de edad.

De acuerdo con estos valores, el modelo Brody sobreestima el peso adulto para machos y hembras, estando este valor muy por encima de los valores utilizados para el ajuste de los modelos. Los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico hacen predicciones del peso adulto más certeras que los valores reportados en la literatura para cuyes mejorados. Todos los modelos revelaron que los machos presentan un mayor peso maduro que las hembras.

El parámetro A no es el peso máximo que las llamas alcanzan, es simplemente un estimado del peso medio a la edad adulta libre de los efectos del ambiente temporal, disponibilidad de alimento, estado de preñez o lactancia, tal como lo manifiestan Brown *et al.* (1976) y Fitzhugh (1976), con respecto a otras especies domésticas. En las llamas, A es un parámetro complicado de definir, especialmente en los machos, debido a que este se alcanza a una edad relativamente tardía. Asimismo, se complica más en las hembras, debido a que en estas el peso varía aún más por la gestación, por la edad, por el número de partos. En consecuencia, la aproximación al peso adulto es lenta, por lo que no es frecuente, en las explotaciones, encontrar animales que lo alcancen. Según Wurzinger *et al.* (2005), en las llamas *k'ara* se da hasta la edad de cuatro años únicamente. Con respecto al peso adulto en las llamas (diferente al peso maduro A) existen reportes que indican gran variabilidad de este carácter, sin precisar cuál es la edad adulta, sexo o raza de las mismas (Sumar, 1981; citado por Pacheco *et al.*, 2017). Por otro lado, (Yacobaccio y Vilá 2013) indican que las *k'ara* son más pesadas y pueden llegar hasta los 142 kg, refiriendo medias de 79,5 ± 30,5 y 86,6 ± 29,3 para las razas *k'ara* y *ch'accu*, respectivamente.

Según Apaza y Pineda (2001, como se citó en Apaza y Quispe, 2016), se reportaron valores de 102,90 ± 11,02, 102,09 ± 11,38 kg y 98,33 ± 10,69; 95,73 ± 11,33 kg para llamas *k'ara* y *ch'accu* de 1 361 y 2 089 días de edad, respectivamente. Los resultados encontrados en el presente estudio fueron inferiores a los reportes de (Apaza y Quispe, 2016) quienes concluyeron que los estimados de peso asintótico (A) resultaron relativamente menores a los reportes de otros autores y, además, definen que el peso adulto o asintótico (A) representa el peso corporal genético que se alcanza cuando cualquier incremento en el peso no sea del llenado gastrointestinal y solo

corresponda al incremento lipídico (Arango y Van Vleck, 2002), o como aquel en el cual el animal alcanza el 20 % de grasa corporal. Desde esta perspectiva, alcanzar A en las llamas ocurriría a la edad de 4 a 5 años (Apaza y Pineda, 2001); como se citó en Apaza y Quispe, 2016), coincidiendo con lo afirmado por Arango y Van Vleck (2002), quienes sostienen que, considerando las diferentes razas, se acepta que el peso a la madurez se alcance a los 5 años, en la especie del vacuno de carne.

Mediante el análisis de valores A estimados aquí, aplicando diferentes modelos de crecimiento no representan al peso a la edad avanzada; además la estimación del peso adulto asintótico (A), a través de funciones de crecimiento, es más confiable cuando los datos empíricos corresponden a una edad muy próxima a la edad adulta; circunstancia que no ocurrió en esta ocasión, dado que los pesos fueron tomados en estadios tempranos de la vida del animal. Por ende, estos estimados se asumen como valores menores de los que realmente corresponden.

Sin embargo, los valores de A encontrados en las llamas *k'ara* y *ch'accu* son inferiores a los reportes de Apaza y Quispe (2016), quienes consideraron cifras mayores entre raza y sexo, mientras Canaza, *et al.* (2015), reportaron cifras mayores para los mismos modelos de crecimiento en los que no se discrimina la raza, a pesar de que se analiza un mayor número (2675) de registros; así mismo, son menores a los reportados por (Huanca, *et al.* 2012), quienes realizan un ajuste únicamente al modelo Brody, en la que tampoco se discrimina la variedad y se trabaja con un número muy escaso de animales observados. Tales diferencias, que se asumen, son consecuencia de un inexacto e impreciso registro de los pesos en diferentes periodos del crecimiento.

Wurzinger, *et al.* (2005), reportan valores de A mucho mayores que en el presente estudio, tanto en machos y hembras de ambas razas (*k'ara* y *ch'accu*), ajustando únicamente al modelo Brody. Dichos valores son mayores debido a que tomaron datos de pesos anuales hasta los ocho o más años de edad en las hembras; edad en la que, se asume, las llamas alcanzaron su peso maduro con anticipación.

En este contexto, ante la diversidad de resultados concordamos con lo expresado por Carneiro *et al.*, (2009), quienes sostienen que: "Existen controversias sobre el peso adulto, el cual depende de la especie, raza, selección practicada previamente, manejo y condiciones climáticas, diversidad de nichos ecológicos en la sierra central y sur de Perú".

El parámetro K, o índice de madurez o medida de precocidad, representa la tasa de madurez en cada punto de la curva, donde además indica la velocidad de crecimiento para alcanzar el peso asintótico. De los resultados obtenidos, debido a la pequeña variación en el peso al nacimiento en ambas razas, se observa que los valores de K representan con buena precisión las variaciones en la velocidad relativa con el que el animal crece. En la estimación de este parámetro ocurrió lo contrario respecto de los pesos asintóticos: a mayor A, menor K.

Con respecto a los modelos con similares resultados según los reportes de Apaza y Quispe (2016), quienes sostienen que el modelo Brody y Von Bertalanffy poseen un buen ajuste, además de que los resultados fueron similares a los reportados por Rocha *et al*. (2006), en bovinos de carne. En virtud a los valores menores de K, obtenidos en los modelos Brody y Von Bertalanffy, y valores relativamente mayores en Gompertz y Logístico para ambas razas, se infiere que las llamas alcanzan el peso adulto A tardíamente en primer caso, condición evidente para esta especie animal. Por el contrario, bajo condiciones del segundo caso, alcanzarían A un poco más temprano con la salvedad de que las llamas *k'ara* alcanzarían mucho más tarde que las *ch'accu*. En consecuencia, el valor más adecuado de K para esta especie es un valor pequeño que correspondería a Brody y Von Bertalanffy. Por un lado, Huanca *et al.* (2012) reportaron valores relativamente similares; sin embargo, Wurzinger *et al.* (2005), reportaron valores mayores como consecuencia del uso de los registros de pesos en edades avanzadas.

6.3. RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES DE RAZA, SEXO, EDAD DE LA MADRE Y ÉPOCA DEL PARTO CON EL NACIMIENTO, DESTETE Y EL PRIMER AÑO DE EDAD

6.3.1. Factor raza

Entre las crías de las llamas *k'ara* y *ch'accu*, el peso en el nacimiento y en el destete no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Apaza y Quispe (2016), quienes reportaron que hasta en los primeros 30 días no se encontró alguna diferencia significativa, además afirma que a partir a partir de esa edad se manifiesta el factor raza significativamente. En nuestros resultados no se evidenció a pesar de que las crías *k'ara* tienen pesos ligeramente superiores a *ch'accu*. Además, a medida que aumenta la edad, se expresa el potencial genético, los cuales son tardíos en la expresión de tal efecto. Estas diferencias están bien marcadas en los sistemas de crianza extensiva en las regiones de puna húmeda y son tardíos en puna seca, dado que las potenci alidades del tipo *k*), fue*'ara* son mayores que el tipo *ch'accu*. Del mismo modo, diferencias marcadas se evidenciaron en otras especies.

Según reportes de Canaza, et al. (2015). Evidencian que la estimativa de peso adulto(A superior en llamas k´ara , intermedio frente a las llamas ch´accu, con mayor precosidad en llamas cháccu.

6.3.2. Factor sexo

En las primeras etapas de la vida como al nacimiento, destete o el primer año de edad no existen diferencias marcadas en las llamas *k'ara* y *ch'accu*. Resultados similares fueron reportados por Sánchez, *et al.* (2010), manifiesta que, entre los ovinos, durante las primeras etapas, hasta los 10 o 12 Kg de peso, apenas existen diferencias mínimas, por lo que este factor no afecta en la producción de corderos lechales, pero posteriormente los machos superan a las hembras.

En otras especies, comparativamente los machos crecen más rápido que las hembras debido precisamente a la mayor potencia de los andrógenos con respecto a los estrógenos sobre la estimulación del crecimiento. Los machos tienen mayor capacidad de consumo de alimento en comparación a las hembras, precisamente por una mayor tasa metabólica y pesan al nacer entre 5 % o 7 % más que las hembras, además el periodo de gestación es de 3 a 4 días más en el caso de los fetos machos; por ende, son más eficientes en la conversión de alimento que las hembras.

Según los resultados encontrados, estos evidencian que los machos no difieren significativamente ($p \geq 0,05$) en el nacimiento, destete y al primer año de edad, en comparación a otros resultados que aparecen en otros reportes sobre otras especies (Magaña, *et al.*, 2002); aunque es posible encontrar resultados variables de dimorfismo sexual, así como en cerdos, ovinos y equinos. Sin embargo, Bavera *et al.* (2005) indican que los vacunos machos crecen más rápido que las hembras debido precisamente a la mayor potencia de los andrógenos con respecto a los estrógenos sobre la estimulación del crecimiento.

Según Wurzinger, *et al.* (2005), se reporta que las llamas machos *thampullis* alcanzan en la edad adulta los 101 kg; y las hembras, 75 kg., asimismo en alzada a la cruz 106 cm y 102 cm respectivamente, entre razas llama K´ara hembra con mayor alzada 104 c. frente Ch´accu hembra 102 cm. Estos resultados nos indican que en las llamas el factor sexo se manifiesta tardíamente.

6.3.3. Factor edad de la madre

El comportamiento materno y los rendimientos lácteos influyen sobre el crecimiento pre-destete y la tasa de sobrevivencia del animal.

Según las afirmaciones de Bavera *et al.* (2005), el crecimiento intrauterino tiene gran importancia en el desarrollo del animal después de nacido, por ejemplo, en vacunos. Así mismo, se han reportado en alpacas que la edad afecta el desarrollo de la

cría y la sobrevivencia. Por otro lado, los machos de 2 a 5 años de edad tuvieron las mejores crías en peso al nacimiento: 8,16 kg (Bustinza *et al.*, 1988).

Los mejores pesos de crías de llamas fueron provenientes de madres de 7 y 9 años, resultados confirmativos en relación a otros especies como reportes de Ramírez, *et al.* (2013), quienes afirman que este es un resultado común, en el que los mayores pesos en el nacimiento se encuentran generalmente en las crías de los corderos madres de edades intermedias; mientras que los pesos menores corresponden a las crías de las madres primerizas, o bien, de madres en edades muy avanzadas, hecho que se atribuye a que las ovejas jóvenes que no han alcanzado su tamaño adulto todavía continúan creciendo durante la gestación, compitiendo así con el feto por los nutrientes disponibles. Los promedios de peso en el destete ajustado más grandes se encontraron en corderos provenientes de madres de 4, 5, 7 y más años. Así mismo, Sánchez *et al.* (2010), menciona que la edad y condición corporal de la madre influyen en el crecimiento fetal, ya que está muy relacionado con el peso vivo de la madre durante la gestación. El peso vivo de los corderos prímelas es menor que el de las ovejas adultas, sobre todo si las prímelas no se han desarrollado adecuadamente para el primer parto.

6.3.4. Factor época del parto

En cuanto a las llamas nacidas en los meses de enero, febrero y marzo, no reflejaron diferencias; sin embargo, es necesario suplementar con reconstituyentes para la expresión de su potencial genético, ya que los climas son muy irregulares.

Según los reportes de Sánchez, *et al.* (2010), en ovinos los sistemas actuales con alimentación suplementaria al final de la gestación y durante la lactación se da cuando es necesario. Este factor influye especialmente a través de la temperatura. El estrés térmico por calor reduce el crecimiento fetal y, por tanto, incide negativamente en el peso de la cría; incluso, durante el verano la ingestión de alimentos y la ganancia de peso disminuye. Los mejores rendimientos se logran entre 10 a 20 °C.

6.4. SUPLEMENTACIÓN

Se evidencia mejora en peso vivo kg. en grupo de llamas suplementados sobre todo en periodo de destete, ya que esas épocas son críticos, que repercuten en el crecimiento animal.

Además, es necesario el manejo del plano nutricional alimentario con la finalidad de lograr la máxima expresión del potencial genético en el crecimiento y desarrollo de las llamas. El crecimiento intrauterino tiene gran importancia en el desarrollo del animal después de nacido, ya que las crías de madres desnutridas dan partos a crías con peso promedio, más liviano que las crías provenientes de madres bien alimentadas; y si el animal no posee un buen peso al nacer, no estará en condiciones de compensar posteriores situaciones adversas.

En la puna seca es posible identificar los periodos críticos nutricionales que afrontan las llamas y alpacas, según estudios realizados por San Martín y Van Saun (2014), quienes reportaron que la época de destete coincide con la época del periodo seco, en que los pastos naturales se encuentran secos y con bajo contenido de nutrientes. Por tal motivo, con la suplementación de reconstituyentes mejora el peso adulto. Para que exista mayor expresión del potencial genético en el crecimiento, es necesaria la suplementación durante la época húmeda, ya que debe estar constituida por un alimento palatable que compita con la pradera en rebrote y con un buen contenido de proteína.

Según San Martín y Van Saun (2014), señalan como alternativas alimentarias el uso de pastos cultivados como suplementos y el tratamiento con urea a las praderas naturales de especies nativas y fibrosas para mejorar su potencial alimenticio

Según los reportes de Sánchez, *et al.* (2010), en los ovinos la alimentación es un factor determinante tanto en el crecimiento prenatal como postnatal. En la alimentación materna hay que cuidar, especialmente, el último tercio de gestación, evitando la subnutrición y el engrasamiento, ya que ambos aspectos producirán corderos de bajo peso en el nacimiento; posteriormente, la alimentación durante la lactancia es clave para

un buen crecimiento; y después del destete, los animales deben recibir una adecuada alimentación.

El factor que más afecta el rendimiento o crecimiento en cualquier especie animal es la satisfacción de sus necesidades nutricionales, según el tipo de dieta que consume. En efecto, la alimentación, en calidad y cantidad, es un factor estimulador o inhibidor del crecimiento (Bistolfi, *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

1. Los resultados del presente estudio muestran que el crecimiento de las llamas sigue una curva sigmoidea. Los modelos matemáticos postulados para la modelización del crecimiento se ajustaron muy bien a los datos del peso vivo de las llamas para describir su crecimiento. El modelo Brody y Von Bertalanffy son los que se adecúan mejor, teniendo en cuenta que tuvo mayores valores R^2, CME AIC y BIC.

2. El modelo Brody, seguido por el modelo Von Bertalanffy, demostró mejor bondad de ajuste para describir y predecir el crecimiento de las llamas *K´ara* y *Ch´accu* en condiciones de alimentación natural.

3. El modelo Brody y Von Bertalanffy se ajustó a la curva de crecimiento en llamas *K´ara* y *Ch´accu* en ambos sexos en condiciones alimentación natural (pastoreo) y suplementación (reconstituyentes).

4. Los factores ambientales inherentes, edad de la madre, suplementación reconstituyente y raza afectó significativamente curva de crecimiento, evidenciando efecto dimorfismo sexual tardío.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario continuar registrado de los pesos de todas las categorías que permitan validar los resultados obtenidos y mejorar la estimación de los pesos adultos, que caracterizan a las llamas lograr estimación de patrón de crecimiento.

2. Las funciones matemáticas que mejor describen el crecimiento animal pueden utilizarse para evaluar el nivel de producción de un rodeo en un determinado ambiente; y junto a la genealogía de los animales pueden formar parte de programas de evaluación genética de ambos tipos, donde los registros de producción son esenciales para la formulación de las diferencias esperadas en la progenie (DEP) de los reproductores.

3. Evaluar los factores que influyen en la curva de crecimiento es muy relevante para la caracterización de este recurso genético y para contribuir en la planificación y ejecución de programas de manejo y mejoramiento.

4. Evaluar los modelos matemáticos no lineales mixto que ajustan curvas de crecimiento en diferentes medios ecológicos y a mayores edades para evidenciar información completa del crecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, U. G. de, Cobuci, J. A., Silva, M. V. G. B. da y Sereno, J. R. B. (2004). *Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos* pantaneiros. *A*rchivos de Zootecnia, 53(204), 367–370. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49520403.

Agudelo, D., Cerón, M. y Restrepo, L. (2008). *Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 21, 39–58.

Agudelo, D. (2004). C*urvas de crecimiento de crías de vacuno levantadas en la Corporación Universitaria Lasallista.* Revista Lasallista de Investigación, 1(2), 42–45. http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Curvas+de+crecimiento+de+crías+de+vacuno+levantadas+en+la+Corporación+Universitaria+Lasallista#0.

Aguilar, F. (2010). *Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de tilapia roja (Oreochromis spp.) y tilapia nilótica (Oreochromis niloticus Var. Chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/6737.

Álvarez, A., Pérez, H., Martín, T. de la C., Quincosa, J. y Sánchez, A. (2009). *Fisiología animal aplicada*. WorldCat.Org. https://www.worldcat.org/es/title/fisiologia-animal-aplicada/oclc/991687071.

Apaza, E. y Quispe, J. (2016). *Pesos, ganancia de peso y modelos de crecimiento en crías de llamas* (*Lama glama*) *k'ara* y *ch'aco*. *Rev. Investig. Altoandin.*, *18*, 179–188. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5560561.

Arango, J. A., & Van Vleck, L. D. (2002). *Size of beef cows: Early ideas, new developments. Genetics and Molecular Research*, *1*(1), 51–63. https://doi.org/10.4238/vol1-1gmr005.

Azor, P., Jiménez, P., Valera, M., Salado, F., Álvarez, F., Pérez, J. y Molina, A. (2005). *Determinación de la curva de crecimiento de los terneros de raza retinta.* Federación Española de Asociaciones de Ganado Selecto (FEAGAS). https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/34905/feagas27-2005.1-2.pdf?sequence=1.

Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H. y Petryna, A. (2005). *Crecimiento, desarrollo y precocidad: conceptos de crecimiento y desarrollo animal*. Cursos de producción bovina de carne. www.produccion-animal.com.ar.

Berlanga, M., Molina, A., Luque, A., Delgado, J. y Salado de la Torre, F. (1995). *Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto desde el nacimiento hasta el destete. Archivos de Zootecnia*, *44*, 179–192. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1418704.

Bistolfi, M., Direnna, N., Fernández, S. y Moltini, P. (2014). *Curva de crecimiento en terneros de diferente genotipo desde el nacimiento hasta los dos años de edad* [Tesis de Pregrado, Universidad de la República]. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/8732.

Brenes, E. R., Madrigal, K., Pérez, F. y Valladares, K. (2001). *El cluster de los camélidos en Perú: Diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas.* https://www.academia.edu/2530676/El_cluster_de_los_camélidos_en_el_Perú_Diagnóstico_competitivo_y_recomendaciones_estratégicas_Proyecto_Andino_de_Competitividad.

Brody, S., y Herman, F. (1964). B*ioenergetics and growth: with special reference to the* efficiency complex in domestic animals. Hafner Pub. https://catalog.hathitrust.org/Record/001508988.

Brown, J. E., Cartwright, T. C., & Jr. Fitzhugh, H. A. (1976). A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science*, *42*(4), 810–818. https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1976.424810x.

Bustinza, A. V., Burfening, P. J., & Blackwell, R. L. (1988). *Factors affecting survival in young alpacas (Lama pacos). Journal of Animal Science*, *66*(5), 1139–1143. https://doi.org/10.2527/jas1988.6651139x.

Canaza-Cayo, A. W., Huanca, T., Gutiérrez, J. P., & Beltrán, P. A. (2015). *Modelling of growth curves and estimation of genetic parameters for growth curve parameters in* Peruvian young llamas (*Lama glama*). *Small Ruminant Research*, *130*, 1–29. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.01.026.

Carneiro, P. L., Malhado, C. H., Affonso, P. R. A., & Pereira, D. (2009). *Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambrina, criados na caatinga.* Food and Agriculture Organization of the United Nations (AGRIS). https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR2012500207.

Chauca, L. (1997). Producción de cuyes *(Cavia porcellus)*. Instituto Nacional de Investigación Agraria, La Molina, Perú. https://www.fao.org/3/w6562s/w6562s00.htm.

Chin, R. del C., Estrada, R., Magaña, J., Segura, J., y Núñez, R. (2016). *Genetic parameters for growth and reproductive traits of brown swiss cattle from Mexico. Genetic Parameters for Brown Swiss Cattle*, *3*(7), 11–20. https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-90.

Costa, M., Bernardo, A., Sales, E., Pinheiro, S. M., Araújo, Í., & Yurika, I. (2012).

Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. Semina:Ciencias Agrarias, *33*(5), 2011–2018. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p2011.

Cruz, A., Burgos, A., Torres, R. y Gutiérrez, J. (2018). *Análisis del peso corporal y predicción de la curva de crecimiento usando modelos no lineales en alpacas* peruanas. *Memorias, Tomo II*, 1–3.

Cruz, L. A. (2011). *Estimación de parámetros genéticos para caracteres productivos en alpacas (Vicugna pacos), Perú 2011*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15888/TesinaMaster_LeyfengAlanCruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Da Silva, N., Aquino, L., Silva, F., & Oliveira, A. (2004). *Curvas de crescimento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça nelore. Ciência e Agrotecnologia*, *28*(3), 647–654. https://www.scielo.br/j/cagro/a/XYZTqfq38hJY3pVT7LLXDJn/abstract/?lang=pt.

Dañobeytia, I., Niell, F. y Rossi, G. (2015). *Curvas de crecimiento en terneros Hereford, A. Angus y cruzas, desde el nacimiento hasta los seis meses de edad* [Tesis de Pregrado, Universidad de la República]. *Facultad de Agronomía*. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/8798.

Davidian, M., & Giltinan, D. M. (2003). N*onlinear models for repeated measurement data: An overview and update*. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, *8*(4), 387–419. https://doi.org/10.1198/1085711032697.

Delgadillo, A. C., López, R., Montaldo, H., Estrada, A., Shimada, A. y Vásquez, C. (2009). *Caracterización de la curva de crecimiento del ciervo rojo (Cervus elaphus scoticus) en el centro de México. Téc. Pecu. Méx*, *41*(1), 117–123. https://www.researchgate.net/publication/43531099_Caracterizacion_de_la_curva_

de_crecimiento_del_ciervo_rojo_Cervus_elaphus_scoticus_en_el_centro_de_Mexico?enrichId=rgreq-4c98535d0e75e4152e63ab07e887fea4-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzQzNTMxMDk5O0FTOjEwNj.

Domínguez, J., Ortega, J. Á., Rodríguez, F. A., Callejas, N., Aguilar, N. y Santillán, E. (2014). *Ajuste de modelos no lineales para caracterizar el crecimiento de bovinos Hereford y Salers.* Revista Cientifica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia, 24(5), 436–442.

Domínguez, J., Urbina, R., Palacios, A., Callejas, N., Ortega, J. Á., Espinoza-Villavicencio, J. L., Padrón, Y. y Rodríguez, M. (2017). *Caracterización del crecimiento de bovinos cebú en pruebas de comportamiento en pastoreo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *4*(11), 341. https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1149.

Durmus, I., Alkan, S., Narinc, D., Karabag, K., & Karsli, T. (2017). Effects of mass selection on egg production on some reproductive traits in Japanese quail. *European Poultry Science*, *81*. https://doi.org/10.1399/EPS.2017.168.

Echevarría, A. I. y Miazzo, R. (2002). *El ambiente en la producción animal*. Clima y ambientación. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/01-el_ambiente_en_la_produccion_animal.pdf.

Fernández, L., Rangel, L., Guerra, W. y Pozo, J. (2019). *Modelación estadístico-matemática en procesos agrarios. Una aplicación en la ingeniería agrícola*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 28(2), 1–7.

Fitzhugh, H. A. (1976). A*nalysis of growth curves and strategies for altering their* shape. *Journal of Animal Science*, *42*(4), 1036–1051. https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1976.4241036x Published: 01 April 1976.

France, J., & Kebreab, E. (2008). *Mathematical Modelling in Animal Nutrition.* CAB international.

Freitas, A. R. (2005). Growth curves in animal production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *34*(3), 786–795. https://www.scielo.br/j/rbz/a/rHfSnXSdtRdPcDqYwVxTwsF/?format=pdf&lang=pt.

Gutierrez, G. y Wurzinger, M. (2013, October 23). *Mejoramiento genético en llamas: Caso de pequeños rebaños de la región de Pasco, Perú*. Universidad Agraria La Molina-UNALM. https://slidetodoc.com/xlii-congreso-argentino-de-genetica-foro-de-camelidos/.

Hammond, J. (1960). P*rincipios de la explotación animal: reproducción, crecimiento y herencia.* Acribia.

Holland, M. D., & Odde, K. G. (1992). *Factors affecting calf birth weight: A review. Theriogenology*, *38*, 769–798. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-691X(92)90155-K.

Huanca, T., Mamani, R. H., Cárdenas, O., González, M. L. y Sapana, R. (2012). *Evaluación del peso al nacimiento, destete, al año de edad y curva de crecimiento de alpacas y llamas cría nacidas por transferencia de embriones interespecies*. *Spermova*, *2*(1), 44–46. http://200.123.25.5/bitstream/20.500.12955/1095/5/Huanca-et-al_2012_Alpaca_Llama.pdf.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario 2012.* Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1137/Libro.pdf

Iglesias, A., Carril, J. A., Fernández, M., Rodríguez, I. M., Franco, D. y Lorenzo, J. M. (2014). *Estudio de la curva de crecimiento de richards en un cruce entre porcinos duroc x cerdo celta*. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal, 4, 196–198. http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2014/Trabajo045_AICA2014.pdf.

Juárez-Caratachea, A., Delgado, I., Gutiérrez, E., Salas, G., Ortiz, R., y Segura, J. (2019). *Describing the growth curve of local turkey using non-linear models*. Revista MVZ Cordoba, 24(1), 7104–7107. https://doi.org/10.21897/RMVZ.1149.

Juengel, J. L., Garverick, A., Johnson, A. L., Youngquist, R., y Smith, M. (1993). *Apoptosis during luteal regression in cattle*. *Endocrinology*, *132*(1), 249–254. https://doi.org/10.1210/en.132.1.249.

Lambe, N. R., Navajas, E. A., Simm, G., y Bünger, L. (2006). *A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breed*s. *Journal of Animal Science*, *84*, 2642–2654. https://doi.org/10.2527/jas.2006-041

Lawrence, T. L. J., & Fowler, V. R. (2002, January 1). *Growth of farm animals*. CABI-Digital Library. https://doi.org/10.1079/9780851994840.0000.

León, Ó., Quiróz, J., Villalobos, A., Prazeres, P., Puntas, J. A. y Delgado, J. V. (2006). *Uso de Modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de corderos segureños a la edad de sacrificio.* Asociación Nacional de Criaderos de Ganado Ovino de Raza Segureña (pp. 1–4).

Lopes, F., da Silva, M., Marques, E., y McManus, C. M. (2012). A*nalysis of longitudinal data of beef cattle raised on pasture from northern Brazil using nonlinear models*. *Tropical Animal Health and Production*, *44*(8), 1945–1951. https://doi.org/10.1007/s11250-012-0161-x.

Luque, A., Molina, A., Berlanga, M., Delgado, J., y Jiménez Fernández, J. M. (1995). *Análisis de los factores que afectan a la curva de crecimiento del ganado vacuno retinto hasta el deste*te. In *Archives of Veterinary Science* (Vol. 44). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1418751.

Macedo, R. y Arredondo, V. (2008). *Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos pelibuey en manejo intensiv*o. *Archivos de Zootecnia*, *57*(218), 219–228. https://www.redalyc.org/pdf/495/49515018014.pdf.

Magaña, J. G., Delgado, R. y Segura, J. C. (2002). *Factores ambientales y genéticos que influyen en el intervalo entre partos y el peso al nacer del ganado cebú en el suresto* de México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *36*(4), 317–322. https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018080001.pdf.

Mamani, L., Cayo, F. y Gallo, C. (2014). *Características de canal, calidad de carne y composición química de carne de llama: una revisión. R*evista de Investigaciones Veterinarias Del Perú, 25(2), 123–150. https://doi.org/10.1109/ITW.2013.6691279.

Martínez, S., Peña, B., Moreno, L. y Macías, H. (2015). *Método de tipificación de la curva de crecimiento del cuye raza andina con el modelo logístico*. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias, 2(4), 647–653. www.ecorfan.org/bolivia.

McManus, C., Evangelista, C., Fernandes, L., De Miranda, R. M., Moreno, F., y Dos Santos, N. (2003). C*urvas de Crescimento de Ovinos Bergamácia Criados no Distrito Federal*. Revista Brasileira de Zootecnia, 32(5), 1207–1212. https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000500022.

Mejías, A. (2018). *Modelación matemática para describir el crecimiento y producción de biomasa de la especie* Pennisetum purpureum (Vol. 16).

Nelder, J. A. (1961). *The Fitting of a Generalization of the Logistic Curve*. Biometrics, 17(1), 89–110. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2527498.

Nistal, A., Zapata, M., Bianchi, F., Miranda, J., Frana, E. y Di Masso, R. (2013). *Patrón dinámico de crecimiento de gazapos de chinchilla* (*Chinchilla lanigera*) durante la lactancia. *Analecta Vet*, *33*(1), 5–9.

Nogales, S., Lupi, T., León, J., Arando, A., Miró, M., Delgado, J. y Camacho, M. (2014). *Avances en el estudio de la curva de crecimiento del ganado bovino marismeño.* Actas Iberoamericanas de Conservación Animal, 4, 147–149. https://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/5925.

Noguera, R. R., Pereira, R. L. y Solarte, C. E. (2008, May 1). C*omparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (Cavia porcellus) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio.* Livestock Research for Rural Development. http://www.lrrd.org/lrrd20/5/nogu20079.htm.

Pacheco, J., Danilo, P., Vélez, V. y Bravo, W. (2017). *Descripción ecográfica del inicio de la actividad ovárica en alpacas (Vicugna pacos).* Revista de Investigaciones Altoandinas, 19(2), 195–200. https://doi.org/10.18271/ria.2017.278.

Parés, P. y Kucherova, I. (2014). *Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en la cabra catalan*a. *R*ev. Inv Vet Perú, 25(3), 390–398. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172014000300007.

Posada, S., Rosero, R., Rodríguez, N. y Costa, A. (2011). *Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nelore criado en confinamiento*. Revista MVZ Cordoba, 16(3), 2701–2710. https://doi.org/10.21897/rmvz.271.

Pumará, P. (2005). *Crecimiento y desarrollo.* Revista Hereford, Bs. As., 71(641), 30–36. https://doi.org/10.2307/j.ctt21kk0w3.28.

Quispe, E. C., Rodríguez, T. C., Iñiguez, L. R. y Mueller, J. P. (2009). Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information*, *45*, 1–14. https://doi.org/10.1017/s1014233909990277.

Quispe, J., Apaza, E., Ibáñez, V., Villalta, R., Calsín, B. y Vilca, C. (2015). Caracterización morfológica índices corporales de llamas (*Lama glama*) *ch'acu* y *k'ara* de la puna húmeda de la región Puno. *Revista Investigaciones Altoandinas*, *17*(2), 183–192. https://doi.org/10.18271/ria.2015.111.

Ramírez, J., Torres, G., De la Cruz, L., Ochoa, M. A. y Suárez, J. (2013). Evaluación de factores ambientales que influyen en características de crecimiento del nacimiento al destete de corderos Hampshire. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *4*(1), 117–125. https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v4n1/v4n1a10.pdf.

Reiner, R. J., & Bryant, F. C. (1986). *Botanical Composition and Nutritional Quality of Alpaca Diets in Two Andean Rangeland Communitie*s. *Journal of Range Management*, *39*(5), 424–427. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/3899443.

Rincón, J. C. y Quintero, J. F. (2015). *Comparación de modelos no lineales para describir el crecimiento en ganado blanco orejinegro (BON). Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, *10*(1), 31–37. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072015000100004.

Robles, R., Hidalgo, V., Wurzinger, M. y Gutiérrez, G. (2020). *Ganancia de peso y rendimiento de carcasa de llamas (Lama glama) dientes de leche sometidas a engorde con cuatro tipos de alimentación. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, *31*(1), 1–9. https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17547.

Rocha, L., Regazzi, J., De Sousa, W. H., De Almeida, R., Breda, C., y Romeiro, G. (2006). Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *35*(2), 435–442. https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200014.

Rodríguez, L. (2015). *Modelación y simulación de la producción de biomasa de Pennisetum Purpureum Schum y king grass y su aplicación en la alimentación animal* [Tesis de Doctorado, Instituto de Ciencia Animal]. https://www.scribd.com/document/422914819/Tesis-de-doctorado-Lourdes-Rodriguez-Shade.

Rodríguez, O., Bacallao, R. y Varela, M. (2018). *Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en C*uba. *Cultivos Tropicales*, *39*(1), 121–126.

Romero, M. (2019). *Elección del mejor modelo entre el logístico, Gompertz Brody para el incremento de peso vivo según sexo en alpacas suri del centro de investigación y producción Quimsachata, INIA-Puno 2019* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3280002.

San Martín, F. (1991). *Nutrición y alimentación*. Producción de rumiantes menores: alpacas. Impresión RERUMEN. https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS.

San Martín, F., y Van Saun, R. J. (2014). *Applied Digestive Anatomy and Feeding Behavior.* In C. Cebra, D. E. Anderson, A. Tibary, R. J. Van Saun, & L. W. Johnson (Eds.), *Llama and Alpaca Care: Medicine, Surgery, Reproduction, Nutrition, and Herd Health* (1ra ed., pp. 51–58). Elsevier Inc. All.

https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2352-6.00008-0.

Sánchez, M., Martínez, J. y Garzón, A. (2010). *Producción Animal e Higiene Veterinaria Licenciatura de Veterinaria. Departamento de Producción Animal.* https://studylib.es/doc/8152631/buxadé--c.--coord.---1996.-zootecnia.-bases-de-producción.

Saragoz, J. (2020, February 25). Modelos de regresión no lineal para describir la curva de crecimiento de aves criollas. Avicultura.Mx. https://www.avicultura.mx/destacado/Modelos-de-regresion-no-lineal-para-describir-la-curva-de-crecimiento-de-aves-criollas.

Tedeschi, L. O. (2006). Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*, *89*(2–3), 225–247. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.004.

Vaca, J. (2003). Análisis de dos sistemas de producción ecológica utilizando novillos Nelore y criollo chaqueño en el área integrada de Santacruz, Bolivia. [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba]. http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/353/13208421.pdf?sequence=1.

Vargas, B. y Ulloa, J. (2008). Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development*, *20*(7), 1–17.

Vergara, O., Medina, H., Robles, C., Simanca, J. y Bustamante, M. (2017). Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización del modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, *20*(2), 385–391. http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a16.pdf.

Warwick, E. y Legates, J. (1980). Cría y mejoramiento del ganado. *McGraw - Hill Book Co.* (Tercera). http://sb.ues.edu.sv/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=99432.

Wheeler, J. (1995). Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*, *54*, 271–295. https://doi.org/https://sci-hub.se/10.1111/j.1095-8312.1995.tb01037.x.

Wurzinger, M., Delgado, J., Nürnberg, M., Ugarte, G., Valle, A., Stemmer, A., & Sölkner, J. (2005). Genetics of growth traits in Bolivian llamas. In *University of Agricultural Sciences Vienna* (pp. 1–7).

Yacobaccio, H. y Vilá, B. (2013). La domesticación de los camélidos andinos como proceso de interacción humana y animal. *Intersecciones en Antropología*, *14*(7600), 227–238. http://www.scielo.org.ar/pdf/iant/v14n1/v14n1a14.pdf.

ANEXOS

ANEXO N.° 01

Tabla 1

Pesos corporales pronosticados para llamas Cha´ccu

	Peso pronosticado, kg			
Edad, (días)	**Brody**	**Von Bertalanffy**	**Logístico**	**Gompertz**
0	9.02	9.51	10.09	9.76
30	13.91	13.71	13.62	13.65
60	17.98	17.67	17.33	17.50
90	21.37	21.18	20.92	21.03
120	24.18	24.18	24.13	24.11
150	26.53	26.67	26.83	26.67
180	28.48	28.70	28.98	28.74
210	30.10	30.33	30.62	30.38
240	31.44	31.62	31.85	31.66
270	32.57	32.64	32.74	32.64
300	33.50	33.44	33.38	33.38
330	34.27	34.07	33.83	33.94
360	34.92	34.55	34.15	34.36

Tabla 2

Pesos corporales pronosticados para llamas K'ara

	Peso pronosticado, kg			
Edad, (días)	**Brody**	**Von Bertalanffy**	**Logístico**	**Gompertz**
0	8.81	9.36	10.00	9.64
30	14.62	14.30	14.11	14.23
60	19.37	18.97	18.50	18.80
90	23.26	23.06	22.71	22.96
120	26.43	26.48	26.41	26.49
150	29.03	29.25	29.42	29.36
180	31.15	31.45	31.74	31.60
210	32.88	33.17	33.45	33.31
240	34.30	34.50	34.67	34.59
270	35.46	35.52	35.53	35.54
300	36.40	36.29	36.12	36.24
330	37.18	36.88	36.53	36.75
360	37.81	37.32	36.80	37.11

Tabla 3

Pesos corporales pronosticados para llamas hembras

	Peso pronosticado, kg			
Edad, (días)	**Brody**	**Von Bertalanffy**	**Logístico**	**Gompertz**
0	8.56	9.19	9.84	8.50
30	14.28	14.03	13.87	12.52
60	19.01	18.65	18.21	16.56
90	22.91	22.74	22.42	20.28
120	26.13	26.20	26.15	23.49
150	28.79	29.04	29.23	26.11
180	30.98	31.32	31.63	28.19
210	32.80	33.12	33.43	29.80
240	34.29	34.52	34.73	31.02
270	35.53	35.61	35.65	31.93
300	36.55	36.45	36.29	32.61
330	37.39	37.09	36.74	33.11
360	38.08	37.58	37.04	33.47

Tabla 4

Pesos corporales pronosticados para llamas machos

	Peso pronosticado, kg			
Edad, (días)	**Brody**	**Von Bertalanffy**	**Logístico**	**Gompertz**
0	9.00	9.52	10.12	9.78
30	14.48	14.20	14.04	14.14
60	18.96	18.60	18.18	18.45
90	22.62	22.44	22.13	22.35
120	25.62	25.66	25.60	25.66
150	28.07	28.27	28.43	28.35
180	30.07	30.34	30.62	30.47
210	31.70	31.97	32.24	32.09
240	33.04	33.23	33.41	33.31
270	34.13	34.20	34.24	34.22
300	35.03	34.94	34.81	34.90
330	35.76	35.50	35.20	35.39
360	36.35	35.93	35.47	35.75

Tabla 5

Pesos corporales pronosticados para llamas del grupo experimental

	Peso pronosticado, kg			
Edad, (días)	**Brody**	**Von Bertalanffy**	**Logístico**	**Gompertz**
0	8.95	9.51	10.18	9.80
30	15.06	14.73	14.50	14.61
60	19.99	19.60	19.08	19.36
90	23.96	23.81	23.43	23.62
120	27.15	27.26	27.17	27.19
150	29.72	30.01	30.16	30.02
180	31.79	32.14	32.40	32.20
210	33.46	33.78	34.01	33.83
240	34.80	35.02	35.14	35.04
270	35.89	35.95	35.92	35.91
300	36.76	36.65	36.44	36.54
330	37.46	37.17	36.79	36.99
360	38.02	37.55	37.02	37.32

Tabla 6

Pesos corporales pronosticados para llamas del grupo testigo

	Peso pronosticado, kg			
Edad, (días)	**Brody**	**Von Bertalanffy**	**Logístico**	**Gompertz**
0	8.85	9.36	9.95	9.62
30	13.86	13.64	13.55	13.59
60	18.06	17.72	17.39	17.58
90	21.58	21.38	21.12	21.27
120	24.53	24.53	24.50	24.50
150	27.01	27.17	27.35	27.22
180	29.08	29.33	29.64	29.43
210	30.81	31.08	31.41	31.18
240	32.27	32.47	32.73	32.55
270	33.49	33.58	33.70	33.61
300	34.51	34.45	34.39	34.42
330	35.37	35.14	34.89	35.03
360	36.08	35.67	35.24	35.49

ANEXO N.º 02

RESULTADOS CON EL PROGRAMA SAS VERSIÓN 9.4

MODELO DE BRODY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=CHAKU

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	46.2368	0.7793	0.00566	22422.0
1	40.9782	0.7726	0.00524	11826.5
2	41.2029	0.7723	0.00512	11823.4
3	41.2476	0.7723	0.00510	11823.4
4	41.2524	0.7723	0.00510	11823.4
5	41.2530	0.7723	0.00510	11823.4

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	5
R	2.611E-6
PPC(K)	5.243E-6
RPC(K)	0.000042
Objeto	5.03E-10
Objetivo	11823.39
Observaciones leídas	599
Observaciones usadas	599
Observaciones ausentes	0

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	2	44810.2	22405.1	1129.41	<.0001
Error	596	11823.4	19.8379		
Total corregido	598	56633.6			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	41.2530	1.1856	38.9245	43.5815
B	0.7723	0.0107	0.7513	0.7932
K	0.00510	0.000420	0.00428	0.00593

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.1333491	-0.9481120
B	0.1333491	1.0000000	0.0848307
K	-0.9481120	0.0848307	1.0000000

MODELO DE BRODY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=QARA

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	46.2368	0.7793	0.00566	41740.1
1	42.4508	0.7861	0.00599	34783.7
2	42.4482	0.7871	0.00603	34778.2
3	42.4426	0.7871	0.00603	34778.2
4	42.4422	0.7871	0.00603	34778.2

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	1.225E-6
PPC(K)	2.077E-6
RPC(K)	0.000031
Objeto	3.67E-10
Objetivo	34778.22
Observaciones leídas	1613
Observaciones usadas	1613
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	1353786	451262	20890.4	<.0001
Error	1610	34778.2	21.6014		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Total no corregido	1613	1388565			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	42.4422	0.5781	41.3084	43.5761
B	0.7871	0.00676	0.7739	0.8004
K	0.00603	0.000255	0.00553	0.00654

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0092667	-0.9269586
B	-0.0092667	1.0000000	0.2540934
K	-0.9269586	0.2540934	1.0000000

MODELO VON BERTALANFFY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=CHAKU

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	43.6415	0.3700	0.00819	22455.5
1	38.6551	0.3645	0.00757	12091.7
2	38.8896	0.3642	0.00739	12087.2
3	38.9491	0.3642	0.00736	12087.1
4	38.9585	0.3642	0.00735	12087.1
5	38.9601	0.3642	0.00735	12087.1
6	38.9604	0.3642	0.00735	12087.1

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	6
R	2.546E-6
PPC(K)	4.001E-6
RPC(K)	0.000023
Objeto	2.5E-10
Objetivo	12087.05
Observaciones leídas	599
Observaciones usadas	599
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	435987	145329	7166.02	<.0001
Error	596	12087.1	20.2803		
Total no corregido	599	448074			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	38.9604	0.8328	37.3248	40.5960
B	0.3642	0.00857	0.3474	0.3810
K	0.00735	0.000481	0.00641	0.00830

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0317593	-0.8933703
B	0.0317593	1.0000000	0.3020390
K	-0.8933703	0.3020390	1.0000000

MODELO VON BERTALANFFY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=QARA

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	43.6415	0.3700	0.00819	41964.9
1	40.4773	0.3776	0.00854	35347.2
2	40.4475	0.3784	0.00860	35345.4
3	40.4395	0.3785	0.00860	35345.4
4	40.4384	0.3785	0.00860	35345.4

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	8.262E-6
PPC(K)	0.000011
RPC(K)	0.000092
Objeto	5.043E-9
Objetivo	35345.36
Observaciones leídas	1613
Observaciones usadas	1613
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	1353219	451073	20546.6	<.0001
Error	1610	35345.4	21.9536		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Total no corregido	1613	1388565			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	40.4384	0.4190	39.6165	41.2604
B	0.3785	0.00562	0.3675	0.3895
K	0.00860	0.000299	0.00802	0.00919

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0661112	-0.8573423
B	-0.0661112	1.0000000	0.4320866
K	-0.8573423	0.4320866	1.0000000

MODELO LOGISTICO

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=CHAKU

Fase iterativa

Iter	A	K	M	Suma de cuadrados
0	41.9501	0.0115	1.8427	2225356
1	37.8736	0.0170	0.6248	316462
2	34.8957	0.0377	-0.4754	73162.1
3	33.9678	0.0140	-0.6606	37803.1
4	35.4895	0.00721	-1.3222	17547.4
5	36.9606	0.0104	-1.7231	12548.4
6	37.3971	0.0104	-1.8107	12481.1
7	37.4350	0.0103	-1.8086	12481.0
8	37.4461	0.0103	-1.8085	12481.0
9	37.4489	0.0103	-1.8085	12481.0
10	37.4496	0.0103	-1.8084	12481.0
11	37.4497	0.0103	-1.8084	12481.0

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	11
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.181818
R	3.175E-6
PPC(K)	4.049E-6
RPC(K)	0.000016

Resumen de la estimación

Objeto	1.99E-10
Objetivo	12480.95
Observaciones leídas	599
Observaciones usadas	599
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	435593	145198	6933.59	<.0001
Error	596	12481.0	20.9412		
Total no corregido	599	448074			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	37.4497	0.6336	36.2054	38.6941
K	0.0103	0.000553	0.00924	0.0114
M	-1.8084	0.0532	-1.9129	-1.7040

Matriz de correlación aproximada

	A	K	M
A	1.0000000	-0.8282763	-0.0381069
K	-0.8282763	1.0000000	-0.3806000
M	-0.0381069	-0.3806000	1.0000000

MODELO LOGISTICO

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=QARA

Fase iterativa

Iter	A	K	M	Suma de cuadrados
0	41.9501	0.0115	1.8427	5913568
1	40.8414	0.0174	0.5214	891138
2	37.5832	0.0420	-0.5776	223353
3	36.5232	0.0179	-0.7590	118590
4	37.1918	0.00738	-1.3811	60144.4
5	37.3904	0.0120	-1.7424	37867.8
6	39.0542	0.0120	-1.9105	36350.9
7	39.1096	0.0120	-1.9050	36349.6
8	39.1191	0.0120	-1.9048	36349.6
9	39.1209	0.0119	-1.9048	36349.6
10	39.1213	0.0119	-1.9047	36349.6

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	10
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.2
R	6.688E-6
PPC(K)	7.604E-6
RPC(K)	0.000038
Objeto	1.312E-9
Objetivo	36349.56

Resumen de la estimación

Observaciones leídas	1613
Observaciones usadas	1613
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	**DF**	**Suma de cuadrados**	**Cuadrado de la media**	**F-Valor**	**Aprox Pr > F**
Modelo	3	1352215	450738	19964.2	<.0001
Error	1610	36349.6	22.5774		
Total no corregido	1613	1388565			

Parámetro	**Estimador**	**Error std aproximado**	**Límites de confianza 95% aproximados**	
A	39.1213	0.3299	38.4742	39.7684
K	0.0119	0.000347	0.0113	0.0126
M	-1.9047	0.0352	-1.9737	-1.8358

Matriz de correlación aproximada

	A	**K**	**M**
A	1.0000000	-0.7794493	0.0276684
K	-0.7794493	1.0000000	-0.4818876
M	0.0276684	-0.4818876	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=CHAKU

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	42.8626	1.3372	0.00943	2565108
1	38.6441	0.4906	0.0144	368991
2	35.4777	-0.2817	0.0323	82553.6
3	34.4854	-0.4155	0.00545	34909.0
4	38.3050	-0.9825	0.00819	16174.9
5	38.2125	-1.2699	0.00846	12282.9
6	38.2321	-1.3121	0.00849	12232.6
7	38.2582	-1.3115	0.00846	12232.6
8	38.2646	-1.3115	0.00846	12232.6
9	38.2658	-1.3115	0.00846	12232.6
10	38.2661	-1.3115	0.00846	12232.6

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	10
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.2
R	2.981E-6
PPC(K)	4.299E-6
RPC(K)	0.000022
Objeto	2.69E-10

Resumen de la estimación

Objetivo	12232.55
Observaciones leídas	599
Observaciones usadas	599
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	435841	145280	7078.42	<.0001
Error	596	12232.6	20.5244		
Total no corregido	599	448074			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	38.2661	0.7390	36.8147	39.7175
B	-1.3115	0.0382	-1.3864	-1.2365
K	0.00846	0.000516	0.00744	0.00947

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0141121	-0.8619579
B	-0.0141121	1.0000000	-0.3728987
K	-0.8619579	-0.3728987	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
VARIEDAD=QARA

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	42.8626	1.3372	0.00943	6815796
1	41.6960	0.4188	0.0147	1041143
2	38.1870	-0.3517	0.0358	249983
3	37.0694	-0.4832	0.00950	109940
4	39.5389	-1.0161	0.00777	42176.3
5	39.7907	-1.3217	0.00979	35897.1
6	39.8138	-1.3782	0.00989	35713.1
7	39.8220	-1.3781	0.00988	35713.0
8	39.8243	-1.3780	0.00988	35713.0
9	39.8246	-1.3780	0.00988	35713.0

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	9
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.222222
R	3.904E-6
PPC(K)	4.977E-6
RPC(K)	0.000033
Objeto	7.71E-10
Objetivo	35713.03
Observaciones leídas	1613

Resumen de la estimación	
Observaciones usadas	1613
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	1352851	450950	20329.6	<.0001
Error	1610	35713.0	22.1820		
Total no corregido	1613	1388565			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	39.8246	0.3765	39.0862	40.5630
B	-1.3780	0.0254	-1.4279	-1.3282
K	0.00988	0.000324	0.00924	0.0105

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0687413	-0.8191060
B	0.0687413	1.0000000	-0.4899755
K	-0.8191060	-0.4899755	1.0000000

MODELO DE BRODY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=HEMBRA

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	46.2368	0.7793	0.00566	20731.2
1	43.8855	0.7948	0.00555	17167.7
2	43.9141	0.7956	0.00554	17167.2
3	43.9171	0.7956	0.00554	17167.2
4	43.9174	0.7956	0.00554	17167.2

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	8.996E-7
PPC(K)	1.53E-6
RPC(K)	0.000018
Objeto	1.16E-10
Objetivo	17167.22
Observaciones leídas	845
Observaciones usadas	845
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	718680	239560	11749.7	<.0001
Error	842	17167.2	20.3886		
Total no corregido	845	735847			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	43.9174	0.8792	42.1918	45.6429
B	0.7956	0.00868	0.7786	0.8127
K	0.00554	0.000325	0.00490	0.00617

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0080240	-0.9377728
B	0.0080240	1.0000000	0.2233706
K	-0.9377728	0.2233706	1.0000000

MODELO DE BRODY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=MACHO

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	46.2368	0.7793	0.00566	43431.0
1	40.8226	0.7743	0.00595	30826.4
2	40.8136	0.7740	0.00601	30814.8
3	40.8054	0.7741	0.00602	30814.8
4	40.8047	0.7741	0.00602	30814.8

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	2.426E-6
PPC(K)	4.473E-6
RPC(K)	0.000059
Objeto	1.087E-9
Objetivo	30814.82
Observaciones leídas	1367
Observaciones usadas	1367
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	1069977	356659	15787.3	<.0001
Error	1364	30814.8	22.5915		
Total no corregido	1367	1100792			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	40.8047	0.6481	39.5333	42.0761
B	0.7741	0.00777	0.7588	0.7893
K	0.00602	0.000300	0.00543	0.00661

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0240481	-0.9279851
B	0.0240481	1.0000000	0.2209011
K	-0.9279851	0.2209011	1.0000000

MODELO VON BERTALANFFY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=HEMBRA

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	43.6415	0.3700	0.00819	20956.2
1	41.4558	0.3837	0.00810	17546.7
2	41.5023	0.3843	0.00806	17545.9
3	41.5115	0.3843	0.00806	17545.8
4	41.5128	0.3843	0.00806	17545.8
5	41.5130	0.3843	0.00806	17545.8

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	5
R	1.726E-6
PPC(K)	2.328E-6
RPC(K)	0.000016
Objeto	1.59E-10
Objetivo	17545.85
Observaciones leídas	845
Observaciones usadas	845
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	718301	239434	11490.1	<.0001
Error	842	17545.8	20.8383		
Total no corregido	845	735847			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	41.5130	0.6180	40.2999	42.7261
B	0.3843	0.00741	0.3697	0.3988
K	0.00806	0.000381	0.00731	0.00881

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0626847	-0.8719608
B	-0.0626847	1.0000000	0.4159069
K	-0.8719608	0.4159069	1.0000000

MODELO VON BERTALANFFY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=MACHO

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	43.6415	0.3700	0.00819	43464.2
1	39.0101	0.3678	0.00841	31290.4
2	38.9784	0.3678	0.00847	31287.6
3	38.9686	0.3678	0.00848	31287.6
4	38.9673	0.3678	0.00848	31287.6
5	38.9671	0.3678	0.00848	31287.6

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	5
R	1.431E-6
PPC(K)	2.136E-6
RPC(K)	0.000016
Objeto	1.37E-10
Objetivo	31287.56
Observaciones leídas	1367
Observaciones usadas	1367
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	1069504	356501	15541.9	<.0001
Error	1364	31287.6	22.9381		
Total no corregido	1367	1100792			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	38.9671	0.4745	38.0362	39.8980
B	0.3678	0.00626	0.3555	0.3801
K	0.00848	0.000349	0.00779	0.00916

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0376106	-0.8617884
B	-0.0376106	1.0000000	0.4005563
K	-0.8617884	0.4005563	1.0000000

MODELO LOGISTICO

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=HEMBRA

Fase iterativa

Iter	A	K	M	Suma de cuadrados
0	41.9501	0.0115	1.8427	3048415
1	41.2773	0.0176	0.5054	467864
2	37.8158	0.0447	-0.5902	121176
3	36.6726	0.0177	-0.7716	62484.5
4	37.5331	0.00663	-1.4088	36049.0
5	37.3528	0.0115	-1.7384	19806.8
6	39.8615	0.0114	-1.9461	18165.8
7	39.9704	0.0113	-1.9357	18162.9
8	39.9878	0.0113	-1.9356	18162.8
9	39.9915	0.0113	-1.9354	18162.8
10	39.9924	0.0113	-1.9354	18162.8
11	39.9926	0.0113	-1.9354	18162.8

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	11
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.181818
R	3.746E-6
PPC(K)	4.155E-6
RPC(K)	0.000018

Resumen de la estimación

Objeto	3.28E-10
Objetivo	18162.81
Observaciones leídas	845
Observaciones usadas	845
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	717684	239228	11090.2	<.0001
Error	842	18162.8	21.5710		
Total no corregido	845	735847			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	39.9926	0.4780	39.0543	40.9308
K	0.0113	0.000442	0.0104	0.0122
M	-1.9354	0.0469	-2.0274	-1.8434

Matriz de correlación aproximada

	A	K	M
A	1.0000000	-0.7969653	0.0290843
K	-0.7969653	1.0000000	-0.4714177
M	0.0290843	-0.4714177	1.0000000

MODELO LOGISTICO

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=MACHO

Fase iterativa

Iter	A	K	M	Suma de cuadrados
0	41.9501	0.0115	1.8427	5090510
1	39.2305	0.0171	0.5780	740663
2	36.2329	0.0384	-0.5244	175846
3	35.2901	0.0164	-0.7080	95157.0
4	36.1142	0.00794	-1.3331	44142.4
5	36.9750	0.0117	-1.7277	32398.1
6	37.6838	0.0118	-1.8416	32088.5
7	37.7123	0.0118	-1.8394	32088.2
8	37.7191	0.0117	-1.8392	32088.2
9	37.7205	0.0117	-1.8392	32088.2
10	37.7208	0.0117	-1.8392	32088.2

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	10
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.2
R	4.99E-6
PPC(K)	6.16E-6
RPC(K)	0.00003
Objeto	7.01E-10
Objetivo	32088.22

Resumen de la estimación

Observaciones leídas	1367
Observaciones usadas	1367
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	**DF**	**Suma de cuadrados**	**Cuadrado de la media**	**F-Valor**	**Aprox Pr > F**
Modelo	3	1068703	356234	15142.7	<.0001
Error	1364	32088.2	23.5251		
Total no corregido	1367	1100792			

Parámetro	**Estimador**	**Error std aproximado**	**Límites de confianza 95% aproximados**	
A	37.7208	0.3732	36.9886	38.4529
K	0.0117	0.000402	0.0110	0.0125
M	-1.8392	0.0387	-1.9151	-1.7632

Matriz de correlación aproximada

	A	**K**	**M**
A	1.0000000	-0.7864885	0.0056006
K	-0.7864885	1.0000000	-0.4551244
M	0.0056006	-0.4551244	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=HEMBRA

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	42.8626	1.3372	0.00943	3514133
1	42.1591	0.4074	0.0149	546559
2	38.4390	-0.3606	0.0378	135099
3	37.2385	-0.4919	0.00879	55871.4
4	40.4476	-1.0516	0.00737	21021.3
5	40.8032	-1.3514	0.00921	17860.0
6	40.7858	-1.4026	0.00932	17777.5
7	40.7924	-1.4022	0.00931	17777.5
8	40.7948	-1.4022	0.00930	17777.5
9	40.7953	-1.4022	0.00930	17777.5

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	9
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.222222
R	5.174E-6
PPC(K)	6.452E-6
RPC(K)	0.000037
Objeto	1.027E-9
Objetivo	17777.47

Resumen de la estimación	
Observaciones leídas	845
Observaciones usadas	845
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	718069	239356	11336.7	<.0001
Error	842	17777.5	21.1134		
Total no corregido	845	735847			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	40.7953	0.5504	39.7150	41.8755
B	-1.4022	0.0338	-1.4685	-1.3358
K	0.00930	0.000413	0.00849	0.0101

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0682112	-0.8350625
B	0.0682112	1.0000000	-0.4770627
K	-0.8350625	-0.4770627	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
SEXO=MACHO

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	42.8626	1.3372	0.00943	5866771
1	40.0296	0.4583	0.0144	864337
2	36.8140	-0.3150	0.0329	197942
3	35.8100	-0.4480	0.00833	89479.0
4	38.3693	-0.9785	0.00817	37379.2
5	38.4754	-1.2801	0.00962	31742.0
6	38.3866	-1.3305	0.00971	31577.8
7	38.3938	-1.3305	0.00970	31577.7
8	38.3960	-1.3304	0.00970	31577.7
9	38.3964	-1.3304	0.00970	31577.7

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	9
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.222222
R	3.808E-6
PPC(K)	5.278E-6
RPC(K)	0.000034
Objeto	6.9E-10
Objetivo	31577.7
Observaciones leídas	1367

Resumen de la estimación

Observaciones usadas	1367
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	1069214	356405	15394.9	<.0001
Error	1364	31577.7	23.1508		
Total no corregido	1367	1100792			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	38.3964	0.4270	37.5588	39.2340
B	-1.3304	0.0279	-1.3852	-1.2756
K	0.00970	0.000376	0.00896	0.0104

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0430090	-0.8253103
B	0.0430090	1.0000000	-0.4600400
K	-0.8253103	-0.4600400	1.0000000

MODELO DE BRODY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=EXPER

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	46.2368	0.7793	0.00566	29245.6
1	42.1018	0.7804	0.00633	26347.2
2	42.1957	0.7821	0.00643	26309.3
3	42.1872	0.7821	0.00643	26309.3
4	42.1866	0.7821	0.00643	26309.3

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	1.896E-6
PPC(K)	3.249E-6
RPC(K)	0.000053
Objeto	1.002E-9
Objetivo	26309.34
Observaciones leídas	1083
Observaciones usadas	1083
Observaciones ausentes	0

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	2	95866.6	47933.3	1967.67	<.0001
Error	1080	26309.3	24.3605		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Total corregido	1082	122176			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	42.1866	0.6718	40.8684	43.5047
B	0.7821	0.00920	0.7641	0.8002
K	0.00643	0.000336	0.00578	0.00709

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0427128	-0.9161315
B	-0.0427128	1.0000000	0.3016301
K	-0.9161315	0.3016301	1.0000000

MODELO DE BRODY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=TESTIG

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	46.2368	0.7793	0.00566	34916.5
1	41.9532	0.7829	0.00524	19758.9
2	42.1486	0.7837	0.00516	19754.9
3	42.1760	0.7837	0.00515	19754.9
4	42.1784	0.7837	0.00515	19754.9

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	8.993E-6
PPC(K)	0.000016
RPC(K)	0.000164
Objeto	8.93E-9
Objetivo	19754.9
Observaciones leídas	1129
Observaciones usadas	1129
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	836201	278734	15887.4	<.0001
Error	1126	19754.9	17.5443		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Total no corregido	1129	855956			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	42.1784	0.8121	40.5850	43.7717
B	0.7837	0.00696	0.7701	0.7974
K	0.00515	0.000279	0.00460	0.00570

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.1195873	-0.9479651
B	0.1195873	1.0000000	0.0960003
K	-0.9479651	0.0960003	1.0000000

MODELO VON BERTALANFFY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=EXPER

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	43.6415	0.3700	0.00819	29387.0
1	40.4945	0.3733	0.00885	26687.6
2	40.4720	0.3746	0.00898	26676.6
3	40.4568	0.3747	0.00899	26676.6
4	40.4549	0.3747	0.00900	26676.6
5	40.4546	0.3747	0.00900	26676.6

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	5
R	1.868E-6
PPC(K)	2.644E-6
RPC(K)	0.000022
Objeto	2.8E-10
Objetivo	26676.56
Observaciones leídas	1083
Observaciones usadas	1083
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	954005	318002	12874.3	<.0001
Error	1080	26676.6	24.7005		
Total no corregido	1083	980682			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	40.4546	0.5019	39.4698	41.4395
B	0.3747	0.00751	0.3599	0.3894
K	0.00900	0.000395	0.00822	0.00977

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0856562	-0.8439609
B	-0.0856562	1.0000000	0.4643091
K	-0.8439609	0.4643091	1.0000000

MODELO VON BERTALANFFY

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=TESTIG

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	43.6415	0.3700	0.00819	35033.4
1	39.4600	0.3735	0.00769	20231.5
2	39.6471	0.3739	0.00756	20225.6
3	39.6865	0.3739	0.00754	20225.5
4	39.6921	0.3739	0.00753	20225.5
5	39.6929	0.3739	0.00753	20225.5

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	5
R	7.329E-6
PPC(K)	0.00001
RPC(K)	0.000067
Objeto	2.621E-9
Objetivo	20225.48
Observaciones leídas	1129
Observaciones usadas	1129
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	835731	278577	15509.0	<.0001

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Error	1126	20225.5	17.9622		
Total no corregido	1129	855956			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	39.6929	0.5608	38.5926	40.7932
B	0.3739	0.00578	0.3625	0.3852
K	0.00753	0.000322	0.00690	0.00816

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0170517	-0.8901145
B	0.0170517	1.0000000	0.3177319
K	-0.8901145	0.3177319	1.0000000

MODELO LOGISTICO

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=EXPER

Fase iterativa

Iter	A	K	M	Suma de cuadrados
0	41.9501	0.0115	1.8427	3735499
1	41.2001	0.0173	0.5101	567321
2	38.0540	0.0413	-0.5905	145559
3	37.0307	0.0186	-0.7715	80126.9
4	37.4894	0.00793	-1.3714	40898.0
5	38.0639	0.0123	-1.7404	27947.9
6	39.2456	0.0124	-1.8844	27339.3
7	39.2721	0.0124	-1.8810	27339.0
8	39.2778	0.0124	-1.8809	27339.0
9	39.2789	0.0124	-1.8808	27339.0
10	39.2791	0.0124	-1.8808	27339.0

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	10
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.2
R	3.673E-6
PPC(K)	4.348E-6
RPC(K)	0.000022
Objeto	4.26E-10

Resumen de la estimación

Objetivo	27339.03
Observaciones leídas	1083
Observaciones usadas	1083
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	953343	317781	12553.6	<.0001
Error	1080	27339.0	25.3139		
Total no corregido	1083	980682			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	39.2791	0.4025	38.4893	40.0688
K	0.0124	0.000457	0.0115	0.0133
M	-1.8808	0.0464	-1.9718	-1.7898

Matriz de correlación aproximada

	A	K	M
A	1.0000000	-0.7653580	0.0412699
K	-0.7653580	1.0000000	-0.5064497
M	0.0412699	-0.5064497	1.0000000

MODELO LOGISTICO

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=TESTIG

Fase iterativa

Iter	A	K	M	Suma de cuadrados
0	41.9501	0.0115	1.8427	4403425
1	38.8327	0.0173	0.5906	637854
2	35.6384	0.0399	-0.5072	148557
3	34.6285	0.0149	-0.6909	74819.4
4	36.0238	0.00686	-1.3584	34808.0
5	36.8031	0.0108	-1.7430	21414.0
6	38.0052	0.0107	-1.8754	20960.8
7	38.0899	0.0107	-1.8711	20959.6
8	38.1080	0.0106	-1.8709	20959.6
9	38.1121	0.0106	-1.8709	20959.6
10	38.1130	0.0106	-1.8708	20959.6
11	38.1132	0.0106	-1.8708	20959.6

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	11
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.181818
R	4.065E-6
PPC(K)	4.659E-6
RPC(K)	0.00002
Objeto	3.74E-10

Resumen de la estimación

Objetivo	20959.57
Observaciones leídas	1129
Observaciones usadas	1129
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	834997	278332	14952.7	<.0001
Error	1126	20959.6	18.6142		
Total no corregido	1129	855956			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	38.1132	0.4257	37.2779	38.9485
K	0.0106	0.000372	0.00990	0.0114
M	-1.8708	0.0364	-1.9423	-1.7994

Matriz de correlación aproximada

	A	K	M
A	1.0000000	-0.8215603	-0.0278703
K	-0.8215603	1.0000000	-0.3940695
M	-0.0278703	-0.3940695	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=EXPER

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	42.8626	1.3372	0.00943	4307458
1	42.0574	0.4110	0.0146	663190
2	38.6485	-0.3606	0.0352	162592
3	37.5684	-0.4920	0.0105	75479.6
4	39.4872	-0.9987	0.00795	31198.7
5	39.8242	-1.3023	0.0102	27035.8
6	39.9025	-1.3611	0.0103	26917.0
7	39.9114	-1.3609	0.0103	26916.9
8	39.9136	-1.3608	0.0103	26916.9
9	39.9139	-1.3608	0.0103	26916.9

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	9
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.222222
R	3.568E-6
PPC(K)	4.722E-6
RPC(K)	0.000033
Objeto	6.98E-10
Objetivo	26916.95

Resumen de la estimación	
Observaciones leídas	1083
Observaciones usadas	1083
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	953765	317922	12756.1	<.0001
Error	1080	26916.9	24.9231		
Total no corregido	1083	980682			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	39.9139	0.4552	39.0208	40.8071
B	-1.3608	0.0337	-1.4269	-1.2948
K	0.0103	0.000428	0.00943	0.0111

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	0.0851174	-0.8052974
B	0.0851174	1.0000000	-0.5178940
K	-0.8052974	-0.5178940	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento NLIN
Variable dependiente Y
Método: Gauss-Newton
GRUPO=TESTIG

Fase iterativa

Iter	A	B	K	Suma de cuadrados
0	42.8626	1.3372	0.00943	5073446
1	39.6316	0.4668	0.0146	744012
2	36.2371	-0.3034	0.0341	167497
3	35.1648	-0.4363	0.00628	68206.1
4	39.1566	-1.0203	0.00786	26660.0
5	39.0352	-1.3124	0.00865	20617.1
6	38.9356	-1.3559	0.00873	20498.4
7	38.9485	-1.3556	0.00871	20498.4
8	38.9520	-1.3556	0.00871	20498.4
9	38.9527	-1.3556	0.00871	20498.4

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación

Método	Gauss-Newton
Iteraciones	9
Subiteraciones	2
Subiteraciones de promedio	0.222222
R	7.453E-6
PPC(K)	9.638E-6
RPC(K)	0.000054
Objeto	2.022E-9
Objetivo	20498.37
Observaciones leídas	1129

Resumen de la estimación	
Observaciones usadas	1129
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	835458	278486	15297.6	<.0001
Error	1126	20498.4	18.2046		
Total no corregido	1129	855956			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	38.9527	0.4957	37.9800	39.9253
B	-1.3556	0.0261	-1.4068	-1.3043
K	0.00871	0.000347	0.00803	0.00939

Matriz de correlación aproximada

	A	B	K
A	1.0000000	-0.0009622	-0.8567514
B	-0.0009622	1.0000000	-0.3887616
K	-0.8567514	-0.3887616	1.0000000

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento MEANS
VARIEDAD=CHAKU

Variable de análisis : Y

Varianza
94.7049989

VARIEDAD=QARA

Variable de análisis : Y

Varianza
112.1438462

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento MEANS
SEXO=HEMBRA

Variable de análisis : Y

Varianza
114.5799707

SEXO=MACHO

Variable de análisis : Y

Varianza
103.6486795

MODELO GOMPERTZ

Procedimiento MEANS
GRUPO=EXPER

Variable de análisis : Y

Varianza
112.9167644

GRUPO=TESTIG

Variable de análisis : Y

Varianza
100.3366156

Redilat
Red de Investigadores Latinoamericanos
LATAM REVISTA LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

DOI: https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1420

Evaluación de modelos matemáticos en curvas de crecimiento en llamas (lama glama) k'ara y ch'accu en alimentación natural y suplemento

Evaluation of mathematical models in growth curves in llamas (lama glama) k'ara and ch'accu in natural food and supplement

Facundo Emilio Maquera Llano
femaquerall@unjbg.edu.pe
https://orcid.org/0000-0003-4282-895X
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Ghohman
Tacna – Perú

Artículo recibido: 16 de noviembre de 2023. Aceptado para publicación: 04 de diciembre de 2023.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar modelos matemáticos no lineales en curva de crecimiento en llamas k'ara y ch'accu en condiciones de alimentación natural y suplemento, desde el nacimiento hasta 12 meses de edad, en 212 llamas del centro experimental Quimsachata del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Puno. se utilizaron funciones matemáticas no lineales: Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico, para evaluar capacidad de ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento NLIN de SAS. y criterios de información estadística de evaluación fueron: coeficiente determinación (R^2), cuadrado medio de error (CME), criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Los modelos matemáticos proporcionaron una buena calidad de ajuste de los datos de peso vivo kg., para ambas razas y sexos. Los modelos Brody y Von Bertalanffy mostró mejor capacidad de ajuste. En los parámetros de interpretación biológica se evidenció que las llamas k´ara tuvieron mayor estimativa de peso asintótico (A) en comparación a raza ch´accu; según estimativa de precocidad (k), los modelos Brody y Von Bertalanffy reflejaron menores valores. Las llamas k´ara tuvieron ligera precosidad que las llamas ch´accu. En ambos sexos se evidenció mejor ajuste modelos Brody y Von Berftalanffy, indicando que los machos alcanzan la madurez en edades más precoces que las hembras. En condiciones de suplementación reconstituyente, los modelos Brody y Von Bertalanffy reflejaron en sus parámetros biológicos, mayor peso asintótico (A) y precocidad Los resultados fueron significativos ($p<0.05$) para efecto raza, edad de la madre, evidenciando efecto dimorfismo sexual tardío.

Palabras clave: crecimiento, modelo matemático, llamas

Abstract

The objective of the work was to evaluate non-linear mathematical models in the growth curve in k'ara and ch'accu llamas under conditions of natural feeding and supplementation, from birth to 12 months of age, in 212 llamas from the Quimsachata experimental center of the National Institute of Agrarian Research (INIA), Puno. Non-linear mathematical functions were used: Brody, Von Bertalanffy,

Gompertz and Logístico, to evaluate the adjustment capacity of the models, the SAS NLIN procedure was used. and statistical information evaluation criteria were: determination coefficient (R^2), mean square error (CME), Akaike information criterion (AIC) and Bayesian (BIC). The mathematical models provided a good quality of fit for the weight data. live kg., for both races and sexes. The Brody and Von Bertalanffy models showed better adjustment capacity. In the biological interpretation parameters, it was evident that the K'ara llamas had a higher estimate of asymptotic weight (A) compared to the Ch'accu breed; According to the precocity estimate (k), the Brody and Von Bertalanffy models reflected lower values. The k'ara llamas were slightly precoser than the ch'accu llamas. In both sexes, a better fit of the Brody and Von Berftalanffy models was evident, indicating that males reach maturity at earlier ages than females. Under conditions of restorative supplementation, the Brody and Von Bertalanffy models reflected in their biological parameters, greater asymptotic weight (A) and precocity. The results were significant ($p<0.05$) for the race effect, age of the mother, evidencing late sexual dimorphism effect.

Keywords: growth, mathematical model, flames

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . (cc) BY

Como citar: Maquera Llano, F. E. (2023). Evaluación de modelos matemáticos en curvas de crecimiento en llamas (lama glama) k'ara y ch'accu en alimentación natural y suplemento. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades 4(6), 33 – 39. https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1420*

INTRODUCCIÓN

El modelaje matemático es importante y de impacto socioeconómico en las evaluaciones del crecimiento en animales de carne. Además, constituye una herramienta indispensable en la creación de sistemas de soporte computarizados para la toma de decisiones, facilitando a los productores y profesionales del sector generar políticas de manejo dentro de un sistema productivo y a los investigadores aplicar un método para sintetizar el conocimiento científico. El aporte o contribución es establecer un modelo matemático que mejor se ajuste a condiciones locales, curva de crecimiento estándar que explique la velocidad de crecimiento en llamas y con ello, demostrar las características diferenciales entre estas dos razas de llamas en diferentes condiciones medioambientales. Los objetivos fueron evaluar modelos matemáticos no lineales con capacidad de ajuste en la curva de crecimiento en llamas k'ara y ch'accu de ambos sexos.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria Quimsachata, perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria. (INIA), se evaluó curva de crecimiento a través de modelos matemáticos sobre la base de una población de 212 llamas crías (154 k'ara y 58 ch'accu).

Las mediciones se realizaron desde el nacimiento hasta los 12 meses de edad de las llamas de ambos sexos y razas agrupados de las llamas (k'ara y ch'accu) alimentación natural y con suplemento reconstituyente.

Para la evaluación de los modelos no lineales se utilizó la siguiente relación: edad-peso vivo. Del mismo modo, se emplearon los modelos Logístico, Von Bertalanffy, Gompertz y Brody. Para realizar el ajuste de los modelos matemáticos se aplicó el procedimiento iterativo de estimación de los parámetros de Levenberg-Marquardt. Además, se pre fijó la convergencia de la suma de cuadrados del error y de los parámetros como lxe-8 mediante el comando regresión del SAS versión 9.4. Para evaluar la influencia de los efectos ambientales (sexo de la cría, edad de la madre, mes de nacimiento, variedad de la llama y efecto del suplemento) se utilizó modelo lineal general en diseño completamente al azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la curva de crecimiento en llamas k'ara y ch'accu

Según criterios de información estadística. El modelo Brody y von Bertalanffy reflejó una mejor capacidad de ajuste en las llamas ch'accu con un coeficiente de determinación (R^2) que alcanzó un 78.58 %; cuadrado medio de error (CME) con menor valor de 423; según el criterio de información Akaike (AIC) se obtuvo un valor menores de 5 005; y para criterio de información bayesiano (BIC) se obtuvo un resultado de 1587. En consecuencia, dichos resultados se consideraron menores valores que evidencian capacidad de ajuste.

Con respecto a las evaluaciones para las llamas k'ara, se obtuvieron similares resultados: según el coeficiente de determinación (R^2) se alcanzó un 79.86 %; según el cuadrado medio de error (CME) se obtuvo un resultado de 799; según el criterio de información Akaike (AIC) se obtuvo un resultado de 15100; y criterio de información bayesiano (BIC) se obtuvo un resultado de 4 457.

Parámetros biológicos de modelos no lineales según raza

Según Tabla 1. Se revela que los modelos Brody y Von Bertalanffy demostraron un mayor valor, para parámetro estimativa peso adulto (A) para las llamas k'ara frente a las llamas ch'accu, siendo estos

los valores del peso de madurez asintótica y cuyos resultados alcanzaron: 40.64 ± 0.61 kg en las llamas k'ara; y 38.11 ± 1.06 kg en las llamas ch'accu.

Según el parámetro de estimativa de precocidad a la madurez (K), los modelos Brody y Von Bertalanffy exhibieron menores valores frente a los otros modelos Logístico y Gompertz, ya que estos últimos exhibieron mayores valores en el índice de crecimiento, índice de madurez y en el peso de madurez asintótica.

El parámetro elevado (K) presentan madurez precoz en comparación con individuos de valores más bajos que K. Las tasas de crecimiento expresadas en gramos están dentro del modelo Brody, donde son ligeramente mayores para las llamas k'ara (0.0067 ± 0.0003) que para las llamas ch'accu (0.0061 ± 0.0005).

Los resultados encontrados fueron inferiores a los reportes de Apaza y Quispe (2016), quienes concluyeron que los estimados de peso asintótico (A) resultaron relativamente menores a los reportes de otros autores. Desde esta perspectiva, alcanzar A en las llamas ocurriría a la edad de 4 a 5 años (Apaza y Pineda, 2001; como se citó en Apaza y Quispe, 2016), coincidiendo con lo afirmado por Arango y Van Vleck (2002), quienes sostienen que, considerando las diferentes razas, se acepta que el peso a la madurez se alcance a los 5 años, en la especie del vacuno de carne.

Tabla 1

Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en llamas k'ara y ch'accu

Modelo	A ± EE		B ± EE		K ± EE	
	K'ara	Ch'accu	K'ara	Ch'accu	K'ara	Ch'accu
Brody	40.64 ± 0.613	38.11 ± 1.063	0.783 ± 0.072	0.763 ± 0.0115	0.0067 ± 0.00031	0.0061 ± 0.000513
Logístico	37.37 ± 0.344	34.89 ± 0.598	----------	----------	0.0134 ± 0.00042	0.0123 ± 0.000679
Von Bertalanff	38.67 ± 0.439	36.20 ± 0.760	0.376 ± 0.0059	0.359 ± 0.0091	0.0096 ± 0.00036	0.00873 ± 0.00059
Gompertz	38.06 ± 0.320	35.60 ± 0.677	-1.3729	-1.295 ± 0.004	0.0111 ± 0.00039	0.0100 ± 0.00063

Evaluación de la curva de crecimiento en llamas con alimentación natural y suplemento

Los modelos no lineales de mejor capacidad de ajuste fue el modelo Brody, independiente del régimen de alimentación natural y suplemento, Según el coeficiente de determinación (R^2), los valores variaron entre 81.71 % y 77.71 %.

Según Tabla 2. El parámetro estimado peso maduro (A), fue mayor para el grupo con suplementación. Dicha información está verificada en el modelo Brody, cuyos valores fueron: 40. 34 kg y 39 .79 kg. Sin embargo, los valores estimados para otros modelos, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico, fueron menores.

Según las evaluaciones de parámetros de interpretación biológica en llamas con suplementación, se observó una mayor velocidad de crecimiento (K = 0.0072 g), alcanzando un peso adulto superior en comparación al grupo con alimentación natural (K = 0.0059 g). Es evidente la mejora en la tasa de crecimiento, tal como se observa en la tabla 2. Cuanto mayor es el valor de K, más rápidamente va a

alcanzar su peso adulto. En animales con alto valor de K presentan una madurez precoz en comparación con aquellos con un bajo valor de K. Por lo tanto, se puede apreciar que la suplementación mejora en sus parámetros y tasas de crecimiento.

Tabla 2

Parámetros de las curvas de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz en llamas en condiciones de suplementación (experimental) y llamas con alimentación natural (testigo)

Modelo	A ± EE		B ± EE		K ± EE	
	Experimental	Testigo	Experimental	Testigo	Experimental	Testigo
Brody	40.34 ± 0.717	39.79 ± 0.792	0.7783 ± 0.0097	0.7777 ± 0.007	0.0072 ± 0.00042	0.00589 ± 0.00034
Von Bertalanffy	38.64 ± 0.528	37.53 ± 0.550	0.3733 ± 0.007	0.3705 ± 0.006	0.0102 ± 0.0005	0.00859 ± 0.00039
Logístico	37.47 ± 0.419	36.05 ± 0.418	----------	----------	0.0140 ± 0.0006	0.01220 ± 0.00045
Gompertz	38.10 ± 0.476	36.84 ± 0.486	-1.357 ± 0.035	-1.343 ± 0.027	0.0011 ± 0.0005	0.00993 ± 0.00041

Además de los criterios matemáticos que permiten determinar cuál es la capacidad de ajuste de un modelo frente a otro, es necesario considerar parámetros de interpretación que tengan coherencia con los parámetros biológicos de índices productivos para cada especie animal. Este criterio de evaluación depende del conocimiento que tenga el investigador sobre el fenómeno biológico.

Evaluación de los factores de raza, sexo, edad de la madre y época del parto

Según factor raza, los promedios de peso al nacimiento alcanzados fueron: en las llamas k'ara se obtuvo 8.6 ± 1.15 kg; y en las llamas ch'accu se obtuvo 8.56 ± 1.4 kg., El factor raza no influyó ($p \geq 0.05$) sobre el peso en el nacimiento. Asimismo, los promedios del peso en el destete fueron similares en su comparación cuyos valores fueron: en las llamas k'ara se obtuvo 33.07 ± 5.18 kg; y en las llamas ch'accu se obtuvo 30.72 ± 5.69 kg. sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$). Sin embargo, al año de edad se obtuvieron evidencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre razas cuyos promedios alcanzados fueron 38.75 ± 5.5 kg en las llamas k'ara y 36.03 ± 5.17 kg en las llamas ch'accu.

Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Apaza y Quispe (2016), quienes reportaron que hasta en los primeros 30 días no se encontró alguna diferencia significativa, además afirma que a partir a partir de esa edad se manifiesta el factor raza significativamente. En nuestros resultados no se evidenció a pesar de que las crías k'ara tienen pesos ligeramente superiores a ch'accu. Además, a medida que aumenta la edad, se expresa el potencial genético, los cuales son tardíos en la expresión de tal efecto. Según reportes de Canaza-Cayo; et al. (2015). Evidencian que la estimativa de peso adulto(A), fue superior en llamas k´ara, intermedio frente a las llamas ch´accu, con mayor precocidad en llamas cháccu.

Para factor sexo no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre ambos sexos. Asimismo, el factor sexo no afectó al peso en el destete, cuyos promedios alcanzados fueron: 32.37 ± 5.12 kg para los machos; y 32.53 ± 5.88 kg para las hembras. También se observó la similitud entre ambos sexos con relación al peso en el primer año de edad: 37.96 ± 5.87 kg para los machos; y 38.91 ± 4.81 kg para las hembras; en las llamas k'ara y ch'accu.

CONCLUSIONES

El modelo Brody, seguido por el modelo Von Bertalanffy, demostró mejor bondad de ajuste para describir y predecir el crecimiento de las llamas K´ara y Ch´accu en condiciones de alimentación natural y reconstituyentes

Los factores ambientales inherentes, edad de la madre, suplementación reconstituyente y raza afectó significativamente la curva de crecimiento.

REFERENCIAS

Apaza, E. y Quispe, J. (2016). Pesos, ganancia de peso y modelos de crecimiento en crías de llamas (Lama glama) k'ara y ch'aco. Rev. Investig. Altoandin., 18, 179–188. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5560561.

Canaza-Cayo, A. W., Huanca, T., Gutiérrez, J. P., & Beltrán, P. A. (2015). Modelling of growth curves and estimation of genetic parameters for growth curve parameters in Peruvian young llamas (Lama glama). Small Ruminant Research, 130, 1–29. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.01.026.

Gutierrez, G. y Wurzinger, M. (2013, October 23). Mejoramiento genético en llamas: Caso de pequeños rebaños de la región de Pasco, Perú. Universidad Agraria La Molina-UNALM. https://slidetodoc.com/xlii-congreso-argentino-de-genetica-foro-de-camelidos/.

Huanca, T., Mamani, R. H., Cárdenas, O., González, M. L. y Sapana, R. (2012). Evaluación del peso al nacimiento, destete, al año de edad y curva de crecimiento de alpacas y llamas cría nacidas por transferencia de embriones interespecies. Spermova, 2(1), 44–46. http://200.123.25.5/bitstream/20.500.12955/1095/5/Huanca-et-al_2012_Alpaca_Llama.pdf.

Posada, S., Rosero, R., Rodríguez, N. y Costa, A. (2011). Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nelore criado en confinamiento. Revista MVZ Córdoba, 16(3), 2701–2710. https://doi.org/10.21897/rmvz.271.

San Martín, F. (1991). Nutrición y alimentación. Producción de rumiantes menores: alpacas. Impresión RESUMEN. https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS.

Wheeler, J. C. (1995). Evolution and present situation of the South American Camelidae. Biological Journal of the Linnean Society, 54, 271–295. https://doi.org/https://sci-hub.se/10.1111/j.1095-8312.1995.tb01037.x.

Wurzinger, M., Delgado, J., Nürnberg, M., Ugarte, G., Valle, A., Stemmer, A., & Sölkner, J. (2005). Genetics of growth traits in Bolivian llamas. In University of Agricultural Sciences Vienna (pp. 1–7).

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons (cc) BY.