

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**Instituto de Ciencias Agrícolas**



**PREDICCIÓN DEL POTENCIAL DE CRECIMIENTO AL  
DESTETE DE CRÍAS DE OVINOS DE RAZA DE PELO A  
UNA EDAD TEMPRANA**

**TESIS**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRESENTA**

VERÓNICA GONZÁLEZ DEL PRADO

**DIRECTOR**

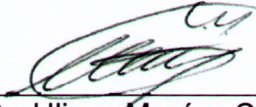



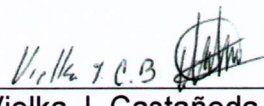
DR. ULISES MACÍAS CRUZ

EJIDO NUEVO LEÓN, MEXICALI, B.C., MÉXICO

DICIEMBRE DE 2021.

La presente tesis titulada “**Predicción del potencial de crecimiento al destete de crías de ovinos de raza de pelo a una edad temprana**”, realizada por la **C. Verónica González del Prado**, fue dirigida por el **Dr. Ulises Macías Cruz**, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS  
DE PRODUCCION ANIMAL  
Comité Particular**

Presidente/Director	 _____
Sinodal/Co-director	 _____
Sinodal/Asesor	 _____
Sinodal/Asesor	 _____
Sinodal/Asesora	 _____

**“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”**

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California, México; Diciembre de 2021.

## AGRADECIMIENTOS

## DEDICATORIA

## ÍNDICE TEMÁTICO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	13
2.1. Productividad de la oveja .....	13
2.2. Potencial de crecimiento en corderos de pelo al pre-destete.....	16
2.3. Factores que afectan el potencial de crecimiento en corderos al pre-destete .....	18
2.3.1. Interacción genotipo ambiente.....	18
2.3.2. Sexo.....	21
2.3.3. Tipo de nacimiento .....	21
2.3.4. Numero de parto.....	22
2.4. Cambios en las medidas zoométricas asociadas al crecimiento.....	23
2.5. Balance térmico .....	26
2.6. Cambios en la temperatura corporal asociados con el crecimiento .....	28
2.7. Termografía corporal y crecimiento.....	30
2.8. Desarrollo de ecuaciones de predicción del potencial de crecimiento .....	31
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	34
3.1. Lugar de estudio .....	34
3.2. Animales, manejo e instalaciones .....	34
3.3. Colección de datos.....	35
3.4. Análisis estadístico.....	37

<b>IV. RESULTADOS</b> .....	39
4.1. Estadísticos descriptivos .....	39
4.2. Correlación de Pearson .....	41
4.3. Ecuaciones de predicción .....	43
4.4. Validación de las ecuaciones .....	47
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	51
5.1. Estadísticos descriptivos .....	51
5.2. Correlación de Pearson .....	53
5.3. Ecuaciones de predicción .....	55
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	57
<b>VII. LITERATURA CITADA</b> .....	58

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Productividad de la oveja de pelo por grupo racial en diferentes sistemas de producción.....	15
<b>Cuadro 2.</b> Estadísticos descriptivos de variables de crecimiento durante el pre-destete en ovinos de pelo (n=221).....	39
<b>Cuadro 3.</b> Estadísticos descriptivos de variables de crecimiento, medidas zoométricas y temperaturas corporales de las crías, así como de las variables climáticas registradas al día 10, 20 y 30 del periodo pre-destete (n=221).....	40
<b>Cuadro 4.</b> Correlaciones de peso al destete y ganancia diaria de peso pre-destete de las crías con sus variables de crecimiento, medidas zoométricas y temperaturas corporales registradas a los días 10, 20 y 30 del periodo pre-destete (n=221), así como con variables climáticas medidas en los mismos tiempos.....	42
<b>Cuadro 5.</b> Ecuaciones de regresión lineal múltiple desarrolladas para predecir el peso al destete y la ganancia diaria de peso de corderas y corderos del genotipo Katahdin puro y cruzado con Dorper, en una etapa temprana del periodo pre-destete (día 10, 20 y 30 post-nacimiento).....	45
<b>Cuadro 6.</b> Ecuaciones finales ajustadas para predecir el peso al destete y la ganancia diaria de peso de corderas y corderos del genotipo Katahdin puro y cruzado con Dorper, en una etapa temprana del periodo pre-destete.....	46
<b>Cuadro 7.</b> Inflación de la varianza y tolerancia de las variables independientes que integran los modelos de regresión finales seleccionados para predecir el peso al destete y la ganancia diaria de peso pre-destete en las crías de ovinos de pelo.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Termografía infrarroja de diferentes partes del cuerpo de corderos de pelo: A [cabeza (1), ojo (2), morro (3)], B [cuerpo (4), vientre (5), espacio intercostal (6), pierna (7)] y C [región posterior de la pierna (8), área trasera (9), peri-anal (10)].....	36
<b>Figura 2.</b> Relación entre el peso al destete (PD) predicho y observado usando el modelo final seleccionado del día 30 post-nacimiento.....	48
<b>Figura 3.</b> Relación entre ganancia diaria de peso pre-destete (GDP) predicha y observadas usando el modelo final seleccionado del día 10 post-nacimiento.....	48
<b>Figura 4.</b> Relación entre el peso al destete (PD) predicho y los residuales (residual y residuales estudentizados) usando el modelo final seleccionado del día 30 post-nacimiento.....	49
<b>Figura 5.</b> Relación entre la ganancia diaria de peso pre-destete (GDP) predicha y los residuales (residual y residuales estudentizados) usando el modelo final seleccionado del día 10 post-nacimiento.....	50



## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue desarrollar ecuaciones de regresión para predecir el peso al destete (PD) y la ganancia diaria de peso pre-destete (GDP) de ovinos de pelo usando algunas medias zoométricas, temperatura rectal, temperaturas de superficie corporal, peso vivo, y variables climáticas registradas al día 10, 20 y 30 del periodo pre-destete como variables predictoras en un clima templado. Un total de 221 crías de raza pura Katahdin y Dorper x Katahdin (machos= 100 y hembras= 121) fueron evaluados desde el nacimiento hasta el destete (80 d). Inicialmente, se desarrolló un análisis de correlación de Pearson, luego, se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple considerando el efecto del sexo y el genotipo como variables binarias. Se desarrollaron ecuaciones de predicción independientes para PD y GDP en cada día de registro. En general, todas las variables predictoras se correlacionaron positivamente con el PD y la GDP ( $P < 0.01$ ). Para PD, la ecuación mejor ajustada ( $P < 0,05$ ;  $R^2_{adj}=68.7\%$ ;  $CV=12\%$ ) incluyó como variable predictora al PV registrado en el día 30 post-nacimiento y al sexo como efecto binario. Para la GDP, la mejor ecuación se desarrolló con el peso al nacer y los datos registrados al día 10 post-nacimiento (PV e índice de temperatura Humedad;  $P < 0.05$ ;  $R^2_{adj}= 72.1\%$ ;  $CV= 13.7\%$ ) como variables predictoras, de igual manera el efecto de genotipo fue incluido como variable binaria. La comparación de valores predichos y observados para PD ( $R^2_{adj}= 0.69\%$ ) y GDP ( $R^2_{adj}= 0.72\%$ ) mostró una concordancia adecuada ( $P < 0.001$ ), por lo que ambas ecuaciones se declararon con buena precisión de predicción. En general, las ecuaciones finales coinciden con los supuestos de análisis de regresión múltiple. Por lo tanto, el potencial de crecimiento al destete en crías de raza de pelo se puede predecir a una edad temprana utilizando las siguientes ecuaciones de regresión para el PD:  $PD_{machos} = 9.93 + 1.58 PV_{d30}$  y  $PD_{hembras} = 8.76 + 1.58 PV_{d30}$ . Para GDP:  $GDP_{KTN} = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$  y  $GDP_{CDR} = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$ .

**Palabras clave:** Crecimiento pre-destete, ovinos de pelo, potencial genético, termografía.

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop regression equations to predict weaning weight (PD) and pre-weaning weight daily gain (GDP) of hair sheep lambs using some zoometric measurements, body temperatures, body surface temperatures, live weight, and climatic variables recorded at day 10, 20 and 30 from the pre-weaning period as predictor variables under a mild weather. A total of 221 purebred Katahdin and Dorper x Katahdin lambs (males= 100 and females= 121) were evaluated from birth until weaning (80 d). Initially, a Pearson's correlation analysis was developed, and then multiple linear regression analysis was used considering the effect of sex and genotype as binary variables. Independent prediction equations for PD and GDP were developed on each recording day. In general, all predictors variables were positively correlated ( $P < 0.01$ ) with PD and GDP. For PD, the best adjusted equation ( $P < 0.05$ ;  $R^2_{adj} = 68.7\%$ ;  $CV = 12\%$ ) included only to PV recorded at day 30 post-birth as predictor variable, and sex as a binary effect. For GDP, the best equation was developed with birth weight and data recorded at day 10 post-birth (PV and temperature-humidity index;  $P < 0.05$ ;  $R^2_{adj} = 72.1\%$ ;  $CV = 13.7\%$ ) as predictor variables, likewise genotype effect was included as binary variable. Comparison of predicted and observed values for PD ( $R^2_{adj} = 0.69$ ) and GDP ( $R^2_{adj} = 0.72$ ) shown adequate agreement ( $P < 0.001$ ), by which both equations were declared with good prediction precision. In general, the final equations agree with the assumptions of multiple regression analysis. Therefore, growth potential at weaning in hair breed lambs can be predicted at an early age using the following regression equations for PD:  $PD_{Males} = 9.93 + 1.58 PV_{d30}$ , and  $PD_{Females} = 8.76 + 1.58 PV_{d30}$ . For GDP:  $GD_{PKTN} = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$  and  $GD_{CDR} = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$ .

**Key words:** Hair sheep, pre-weaning growth, genetic potential, thermography.

## I. INTRODUCCIÓN

La productividad de la oveja es el parámetro de la industria ovina de carne que más se usa para la toma de decisiones en relación al manejo productivo y reproductivo que debe de recibir el rebaño (Magaña et al., 2013). Este parámetro se define como la cantidad de kilogramos destetados por oveja, y tiene gran relevancia porque engloba de manera balanceada la respuesta biológica basada en la eficiencia reproductiva de la oveja y el crecimiento pre y post-natal de los corderos (Snower & Fogarty, 2009). Basado en lo anterior, una estrategia a seguir para mejorar la productividad de las ovejas es anticipar el posible potencial de crecimiento al destete de los corderos desde una edad temprana (Court et al., 2010). Así, al detectar corderos con lento crecimiento, estos podrían recibir un manejo diferenciado con la finalidad de mejorar su tasa de crecimiento y peso al destete (Magaña et al., 2013).

El potencial de crecimiento pre-destete en corderos se puede detectar a una edad temprana mediante el uso de algunas herramientas genéticas. Como la detección de genes asociados con el crecimiento y establecimiento de programas de selección (Hinojosa-Cuéllar et al., 2012). Sin embargo, la mayoría de esas herramientas son costosas, tardadas para obtener resultados satisfactorios, y/o poco prácticas (Camacho et al., 2007b; Velázquez, 2006). Por lo tanto, se requiere investigar otras opciones que permitan definir el potencial de crecimiento pre-destete de los corderos, pero que sean fáciles de aplicar a nivel de campo y que no representen un costo excesivo para los productores.

El desarrollo de ecuaciones de predicción para ganancia diaria de peso pre-destete (GDP) y peso al destete (PD) a edades tempranas (máximo 30 días postparto), pero usando variables predictoras fáciles de medir por los productores, podría ser una alternativa para definir el potencial de crecimiento de los corderos antes del destete. Cabe destacar que no se encontró en la literatura información respecto al desarrollo de este tipo de modelos. No obstante, hay evidencias que el peso vivo (PV), algunas medidas zoométricas (Bautista-Díaz et al., 2020; Chay-Canul et al., 2019) y la termografía corporal (Sasaki et al., 2016) podrían ser usadas para predecir el crecimiento en ovinos y animales domésticos.

Las medidas zoométricas son simples de obtener y se ha demostrado que pueden ayudar a predecir el peso corporal, el índice de masa corporal y las características de la canal (Bautista-Díaz et al., 2020). Así, un estudio reciente encontró que el PD de corderos Pelibuey y Katahdin puede predecirse con gran precisión ( $r^2=0.99$ ) incluyendo en el modelo la circunferencia torácica y abdominal junto con el PV post-ayuno (Chay-Canul et al., 2020). Similarmente en becerros Mali, un estudio encontró que el PD se correlacionaba altamente en forma positiva con la circunferencia torácica (Gunawan & Jakaria, 2016). Por otra parte, las variaciones en la temperatura de la superficie corporal parecen también explicar variables de crecimiento animal. En cerdos pre-destete, Sasaki et al. (2016) reportaron que la temperatura de superficie corporal se asoció positivamente con la GDP a los 12 y 14 días post-nacimiento, pero no con el PV. Contrariamente, las temperaturas del flanco y costillas se correlacionaron negativamente con la GDP en becerras de pre-destete (Lage et al., 2020), mientras que en corderos de raza de pelo no encontraron una relación entre temperatura de superficie corporal y PV o GDP (Paim et al., 2014). Cabe mencionar que las condiciones climáticas son factores a considerar cuando se realiza la toma de termogramas corporales, ya que pueden explicar en gran parte la variabilidad de la temperatura de superficie en corderos (Vicente-Pérez et al., 2019). En este sentido, también son variables a considerar en el desarrollo de modelos que incluyan medidas termográficas como predictoras.

Basado en lo anterior, se planteó la hipótesis que el potencial de crecimiento pre-destete de ovinos de pelo podría predecirse dentro de los primeros 30 días post-parto a través de ecuaciones que incluyan medidas zoométricas, temperaturas de superficie corporal y variables climáticas. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue desarrollar ecuaciones para predecir la ganancia diaria de peso pre-destete y el peso al destete de ovinos de pelo usando algunas medidas zoométricas, temperaturas de superficie corporal y variables climáticas como variables predictoras en un clima templado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Productividad de la oveja

La rentabilidad de la ovinocultura depende de la productividad de la oveja y de la respuesta de crecimiento de sus corderos. La productividad de la oveja es evaluada por la cantidad de kilogramos de corderos destetado por oveja, incluyendo de manera balanceada la respuesta biológica tanto de la madre como el crecimiento pre y pos-natal de los corderos (Macías-Cruz et al., 2010; Magaña-Monforte et al., 2013; Snowden & Fogarty, 2009). Es un parámetro complejo que involucra la interacción de variables productivas y reproductivas tales como fertilidad, tamaño de la camada, peso total de la camada al nacimiento, peso promedio de los corderos destetados, peso total de la camada al destete, número de corderos destetados y la tasa de sobrevivencia del cordero (García-Chávez et al., 2020). La evaluación de los parámetros de productividad de la oveja permite en los sistemas de producción establecer criterios de ajuste o de incorporación de nuevas estrategias de manejo, nutricionales y de mejora genética, debido a que la venta de corderos es la principal fuente de ingresos de la producción ovina de carne (Magaña-Monforte et al., 2013).

La productividad de la oveja de pelo es ideal para la ganadería ovina donde la meta es producir corderos para abasto durante la mayor parte del año (Macías-Cruz et al., 2012). Lo anterior debido a que las ovejas de pelo presentan actividad reproductiva durante la mayor parte del año, son adaptables a climas cálidos y escasos de forraje, resistentes a parásitos, eficientes en el aprovechamiento de esquilmos, alta habilidad materna y rusticidad; particularidades que facilitan su desarrollo reproductivo y productivo en diferentes sistemas de producción (Arroyo, 2011; Avendaño-Reyes et al., 2004; Macías-Cruz et al., 2012). Además, presentan una elevada prolificidad de 1.6 crías por oveja parida, elevado el porcentaje en la incidencia de partos gemelares (<60 %), así como altos porcentajes de fecundidad ( $\geq 90\%$ ) (Cambellas, 1993; Combellas, 1980; González-Garduño et al., 2010; González-Godínez et al., 2014). Aunado a lo anterior, las razas de pelo presentan pesos al nacimiento de  $4.16 \pm 0.54$  kg y pesos al destete de  $18.53 \pm 2.52$  kg (Cuadro 1). Sin embargo, características de peso al nacimiento y de destete pueden presentar

variaciones como resultado de interacciones genéticas, ambientales, nutricionales, así como de las características de los sistemas de producción (García-Chávez et al., 2012).

Incrementar la productividad de la oveja es objetivo clave para los sistemas de producción de corderos, lo cual se puede lograr a través de aplicar tecnología y mejorar algunas prácticas reproductivas (Magaña-Monforte et al., 2013). En este sentido, sistemas de producción con características en común pueden presentar un mismo costo fijo por animal y solo se muestra un aumento en la rentabilidad cuando el número de corderos destetados por oveja es mayor (Ponce et al., 2013). La prolificidad de la oveja es el reflejo de la tasa de ovulación y esto a su vez de la condición corporal durante el empadre, cantidad y calidad de la alimentación, así como del manejo reproductivo del rebaño (De la Isla et al., 2010; Magaña-Monforte et al., 2013). En sistemas semi-intensivos se presenta una prolificidad de  $1.5 \pm 0.03$  por hembra al año, mientras que en rebaños con manejo intensivo esta variable alcanza a  $2.0 \pm 0.08$ , la diferencia entre un sistema y otro puede deberse a las características nutricionales de los pastos tropicales, así como de los cambios de su disponibilidad durante las épocas del año (Chay-Canul et al., 2019; Macías-Cruz et al., 2012; Tec-Canché et al., 2016). Aunado a lo anterior, el número de corderos destetados por oveja es diferente entre sistemas de producción, puede oscilar de  $1.34 \pm 0.04$  a  $1.67 \pm 0.08$  como resultado de mayor prolificidad en combinación con bajas tasas de mortalidad (15 %) del cordero en el periodo pre-destete (Macías-Cruz et al., 2012; Tec-Canché et al., 2016).

El peso de la camada al nacimiento y al destete, incrementan cuando las ovejas reciben suplementación durante la gestación y la lactancia, con un rango de peso al nacimiento (PN) de  $3.88 \pm 0.49$  a  $4.52 \pm 0.54$  kg. Por otro lado, los pesos de la camada al destete están influenciados por los PN, lactación, potencial de crecimiento individual del cordero, la suplementación pre-destete (creep-feeding) desde la primera semana post-nacimiento hasta el destete. Estos factores generan una variación de los PD de  $16.19 \pm 2.19$  a  $22.21 \pm 2.66$  kg de cordero por oveja. Adicionalmente, estas diferencias tanto del PN y PD también pueden estar influenciadas por el genotipo. Por ejemplo, corderos de ovejas Pelibuey al destete

fueron 28.7 % más pesados en comparación a corderos de ovejas Blackbelly. Sin embargo, el desarrollo pre-destete de corderos de la raza Pelibuey es bajo en comparación con otras razas de pelo (Dorper y Katahdin) (Hinojosa-Cuéllar et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2012). En este sentido, las razas Dorper y Katahdin son utilizadas en esquemas de cruzamientos con la finalidad de incrementar el peso de la camada al destete por el efecto de heterosis (Macías-Cruz et al., 2009; Snowden & Fogarty 2009). Por ejemplo, el PD se incrementó alrededor del 17 % cuando se utilizó machos Dorper y Katahdin en comparación al uso de machos Pelibuey con ovejas Pelibuey (Macías-Cruz et al., 2009).

**Cuadro 1.** Productividad de la oveja de pelo por grupo racial en diferentes sistemas de producción.

Autor	SP	Genotipo	Tamaño de camada		Peso de camada		Sobrevivencia
			Nacimiento	Destete	Nacimiento	Destete	
Macías-		Pb x Pb	1.9 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.5±0.07 <sup>a</sup>	5.4 ± 0.17 <sup>a</sup>	23.2±1.41 <sup>b</sup>	0.80±0.04 <sup>a</sup>
Cruz et al (2012)	Intensivo	Dr x Pb	2.0 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.6±0.07 <sup>a</sup>	5.6 ± 0.16 <sup>a</sup>	27.9±1.33 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>a</sup>
		Ktn x Pb	2.1 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.9±0.11 <sup>b</sup>	5.5 ± 0.25 <sup>a</sup>	30.1±2.14 <sup>a</sup>	0.94±0.06 <sup>b</sup>
Mellado et al (2016)	Intensivo	CH x Ktn			4.0±1.1	20.2±4.3	
		H x Ktn			4.3±0.9	20.9±4.3	
		T x Ktn			4.0±1.1	18.2±4.2	
Hinojosa- Cuellar et al (2009)	Semi- extensivo	Pb x Pb			2.84±0.09	14.96±0.95	
		Pb x Dr			2.9±0.08	17.4±0.84	
		Pb x Ktn			3.23±0.11	16.7±1.00	
Quintanilla et al (2018)	Semi- extensivo	Bb x Bb			3.24±0.92 <sup>b</sup>	12.62±3.27 <sup>b</sup>	
		BbxDrxPb			3.57±0.76 <sup>ab</sup>	16.65±4.17 <sup>a</sup>	
		Ktn x Ktn			3.75±1.05 <sup>a</sup>	14.04±4.61 <sup>b</sup>	
Chay- Canul et al (2019)	Semi- extensivo	Pb x Pb	1.14		4.78±0.16a	15.3±0.05b	
		Ktn x Pb	0.80		5.85±0.20a	16.0±0.6a	
Tec- Canche et al., 2016	Semi- extensivo	Pb	1.51±0.03	1.34±0.04	4.22±0.08	23.23±0.50	

SP=sistema de producción, Pb= Pelibuey, Dr=Dorper, Ktn=Katahdin, Ch=Charolais, H=Hampshire, T= Texel, Bb= Blackbelly.

## **2.2. Potencial de crecimiento en corderos de pelo al pre-destete**

Los ovinos de pelo han sido de gran importancia dentro de la ovinocultura, debido a su potencial productivo y reproductivo que poseen. La productividad de los corderos involucra indicadores económicos de PN, PD y GDP (Hinojosa-Cuellar et al., 2015). Cada una de estas características pueden ser utilizadas como un criterio de selección con la combinación de índices de selección apropiados que pudieran lograr ganancias en la mejora genética (García-Chávez et al., 2020). En este sentido, identificar a los mejores animales para características productivas de interés económico, es el objetivo principal en los programas de selección y mejoramiento genético de los rebaños (Afolayan et al., 2007). Por lo tanto, el potencial de crecimiento se define como la capacidad que tiene un cordero de expresar su potencial genético para ganar más peso en el menor tiempo, medido por su PV y GDP pre-destete (López-Carlos et al., 2010).

La expresión del potencial de crecimiento es el resultado de la interacción entre el genotipo y el ambiente (Bermejo et al., 2010). Los factores genéticos involucran a la raza, sexo y tipo de nacimiento, los cuales representan una heredabilidad entre 10 y 15 % sobre la tasa de crecimiento (Lôbo et al., 2009). Los factores ambientales explican la mayor parte de la variabilidad que existe entre individuos de diferente línea genética, entre los cuales se encuentran el manejo nutricional, PN, edad al destete, producción de leche y condiciones ambientales de las épocas de nacimiento (García-Chávez et al., 2020). La interacción de estos factores impactan significativamente en el desarrollo y crecimiento de los corderos (Magaña-Monforte et al., 2013).

En la actualidad los sistemas ovinos convencionales de producción realizan estimaciones de valores genéticos que predicen el potencial de crecimiento de un individuo basado en las desviaciones del rendimiento del individuo y el promedio de su progenie (Garrick & Fernando 2014). El mejoramiento genético implica la búsqueda de la mejor combinación de efectos genéticos para producir un cambio favorable en la media poblacional del rasgo seleccionado en la población objetivo (Jahuey-Martínez et al., 2020). Recientemente, con la disponibilidad de tecnologías



de genotipificación, se han identificado regiones genómicas con un efecto importante sobre diversas características del potencial de crecimiento (Gebreselassie et al., 2020). Por ejemplo, se ha identificado que el gen Calpaina (CADN) está relacionado con el PN (Mahrous et al., 2016). El gen subunidad compleja 1 (MSL1) se ha asociado con los rasgos de GDP pre-destete (Wang et al., 2015). El haplotipo DRB1\*2001 se encuentra relacionado con aumento de peso al destete, PV y GDP (Cinar et al., 2016). El factor de unión potenciador de miositos 2B (MEF2B) y enzima degradable de la hormona liberadora de tirotropina (TRHDE) se asocian con el PV (Zhang et al., 2016). Los rasgos de crecimiento se asocian con el gen del polimorfismo genético de la hormona de crecimiento (GH) (Moradian et al., 2013). De esta manera, estos marcadores genéticos son utilizados para incrementar la precisión genómica del potencial de crecimiento, con el fin de aumentar la eficiencia de la cría y selección de ovinos para producción de carne mediante la duplicación de la ganancia genética (Gebreselassie et al., 2020; Moradian et al., 2013).

El uso de la selección genómica requiere de grandes poblaciones de referencia con animales que poseen datos genotípicos y fenotípicos lo que conlleva a obtener resultados por un periodo largo de tiempo (Hayes et al., 2013). Adicionalmente, es importante que los ovinocultores esten dispuestos a invertir en la selección de candidatos para la selección de genotipos para crear una población de referencia inicial. Por lo que, los ovinocultores optan por estrategias de mejoramiento genético de bajo costo con viabilidad técnica (Shumbusho et al., 2016). La evaluación poligénica basada en pedigrees es una alternativa, ya que se conoce a los mejores animales por su eficiencia productiva para pie de cría en el caso de razas puras, así como el establecimiento de programas de cruzamientos terminales con razas paternas para incrementar el vigor híbrido de las crías (Carrier et al., 2013 y 2014; Gizaw et al., 2008; Hinojosa-Cuellar et al., 2015; Lôbo et al., 2009).

El PN está relacionado con el vigor, el aumento de peso posterior, así como de la supervivencia y crecimiento durante la lactación hasta el destete (Hinojosa-Cuellar et al., 2019). En corderos de pelo el PN se encuentra entre 2.87 y 4.69 kg, siendo mayor en un 21.1 % para la raza Katahdin (Chay-Canul et al., 2020; Hinojosa-Cuellar et al., 2009; Macías-Cruz et al., 2009, 2012; Nasart et al., 2016). Por otro

lado, la GDP pre-destete es un indicador del potencial genético del cordero y de la eficiencia de la madre (Hinojosa-Cuellar et al., 2019). En los sistemas de producción de carne, el empleo de cruzamientos terminales con razas paternas genera un incremento en la GDP del 17 % para la cruce de corderos Pelibuey x Dorper, y de un 14% en corderos Pelibuey x Katahdin, esta respuesta está condicionada por la raza paterna que interviene y la condición nutricional de la oveja (Hinojosa-Cuellar et al., 2009; Macías-Cruz et al 2009, 2012). El incremento de la producción y el crecimiento de los corderos es el reflejo de la heterosis expresada con el aumento del tamaño y vigor de las crías con respecto a sus progenitores (Oliva-Hernández et al., 2016). Adicionalmente, el PD es la característica principal que se establece como criterio de selección o venta de corderos (Chay-Canul et al., 2020). El destete generalmente ocurre entre 60 a 120 días, generando un rango de PD 15.18 a 20.10 kg (Chay-Canul et al., 2020; Hinojosa-Cuellar et al., 2018; Macías-Cruz et al., 2009, 2012; Magaña-Monforte et al., 2018).

## **2.3. Factores que afectan el potencial de crecimiento en corderos al pre-destete**

### **2.3.1. Interacción genotipo ambiente**

La contribución de una característica productiva está condicionada por el animal y su entorno, ya que forman un sistema interconectado, donde ambos actúan el uno sobre el otro (Maniatis & Pollott, 2002). El tipo racial de la madre se asocia más directamente con el número de crías nacidas y el PN, mientras que la raza paterna interviene sobre la trayectoria de crecimiento pre-destete del cordero (PN, GDP y PD) (Hinojosa-Cuellar et al., 2015). De esta manera, las razas son clasificadas de acuerdo a sus características productivas, considerando a la raza Pelibuey y Blackbelly como líneas maternas por presentar prolificidad regular (1.1 a 1.4 crías por oveja parida), alta habilidad materna, pero con corderos de bajo PN y desarrollo pre-destete a diferencia de otras razas (Hinojosa-Cuellar et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2012). Por otro lado, la raza Katahdin muestra capacidad reproductiva y habilidad materna semejante a la oveja Pelibuey, pero sus corderos presentan mayores PN, así como mejores tasas de crecimiento pre y post-destete

(Notter, 2000). Por lo que, la raza Katahdin se utiliza como línea materna o paterna con el fin de incrementar la GDP pre-destete de los corderos, así como PD en los sistemas de cruzamientos terminales (Hinojosa-Cuellar et al., 2015; Nasrat et al., 2016). La raza Dorper destaca como una raza paterna debido a su alto crecimiento pre-destete, altas tasas de desarrollo y producción de canales con buena conformación (De Sousa et al., 2019).

El genotipo de los padres del cordero interacciona con el ambiente uterino para que se exprese el potencial de crecimiento del feto (Michels et al., 2000). Por lo que, el principal motivo para realizar esquemas de cruzamiento de hembras Pelibuey y machos de aptitud cárnica (Katahdin y Dorper) es incrementar el PD en la raza Pelibuey, la cual presenta una lenta tasa de crecimiento (Macías-Cruz et al., 2012). De esta manera, el uso de líneas paternas en estrategias de cruzamiento con ovejas Pb incrementan el peso al destete en un 42.2 % (Macías-Cruz et al., 2009, 2012; Magaña-Monforte et al., 2018; Quintanilla-Medina et al., 2018). Por otra parte, el porcentaje de mortalidad se encuentra en un 10.41 % con progenitores Pelibuey, Dorper y Katahdin al nacimiento y al destete los corderos de la cruce Katahdin x Pelibuey disminuyen el porcentaje de mortalidad en un 15.41 % en comparación con corderos Pelibuey puros (Macías-Cruz et al., 2012). Esto debido a la vigorosidad de las crías al nacimiento, habilidad para consumir alimento sólido a una edad más temprana y de la capacidad de adaptación a las condiciones climáticas. Por lo tanto, es importante mantener una diversidad de razas en un ambiente determinado para mantener una producción óptima (Macías-Cruz et al., 2009, 2012).

La expresión del potencial de crecimiento pre-destete no solo depende del ambiente uterino, sino que también de la alimentación y las condiciones climáticas (Hinojosa-Cuellar et al., 2018). La mayor tasa de crecimiento del cordero ocurre durante las primeras semanas de vida, por lo que la nutrición del mismo durante este periodo es fundamental para obtener tasas de producción satisfactorias en un sistema de producción de carne (Bernardi et al., 2005). En este periodo la leche materna es la principal fuente de nutrientes para el crecimiento, desarrollo y salud de los corderos (Burgos-González et al., 2018). En este sentido, se ha considerado que un cordero en su etapa pre-destete necesita consumir 3.1 kg de leche para ganar un

kilogramo de PV (Chay-Canul et al., 2021). Además, realizar suplementación de alimentos sólidos a los corderos (Creep-feeding) a partir de la segunda semana de vida es una estrategia para aumentar las tasas de crecimiento del cordero durante el periodo previo al destete (Urbano et al., 2017). En el caso de ovinos de pelo se ha utilizado un manejo de creep-feeding con concentrados que contienen entre 15 y 20 % de PC y de 2.9 a 3.3 Mcal de EM (Chay-Canul et al., 2019; Mellado et al., 2016; Tec-Canche et al., 2016).

La época del año afecta el PN y PD, generando un retraso en su progreso genético (Tec-Canché et al., 2016). Este efecto, se presenta debido a que existen variaciones climáticas, y disponibilidad de forraje de calidad, lo cual repercute en el estado nutricional de la oveja en la gestación (García-Chávez et al., 2020). En época de lluvias, las temperaturas son más termoneutrales para ovinos, hecho que favorece el incremento de PD por una mayor disponibilidad de alimento para la cría y la madre (Hinojosa-Cuellar et al., 2012). Similarmente, en época de secas se obtiene mayor crecimiento en los corderos debido a que la gestación fue desarrollada durante la época de lluvias, proporcionando mayor abundancia de forraje para las ovejas y el feto (Magaña-Monforte et al., 2018). Por el contrario, los corderos en época de nortes presentan menor PD debido a que el periodo de lactación ocurre en la época de secas, y además en esta estación el alimento es escaso (Magaña-Monforte et al., 2013). Por otro lado, en épocas de bajas temperaturas ambientales, los ovinos de pelo presentan mayor susceptibilidad al enfriamiento que los ovinos de lana (Mellor & Stafford, 2004). De esta manera, al disminuir la temperatura del aire por debajo de la temperatura crítica mínima (10 °C) la producción de calor metabólico es insuficiente para mantener la temperatura del cuerpo y por ende conseguir ganancias de peso en corderos (Saravia & Cruz et al., 2003). Al respecto, López-Carlos et al., 2021 mencionan que los corderos presentaron mayor PN en diciembre (media de 10.5°C y mínima de -9 °C), pero posteriormente menor ganancia de peso que los corderos nacidos en enero (media de 11.6 °C y mínima de -2 °C) y febrero (media de 13.9 °C y mínima de 9.2 °C). Sin embargo, también se menciona que, aunque en la época de lluvia existe una mayor disponibilidad de forraje, las altas precipitaciones pueden generar en el recién nacido mayor susceptibilidad a enfermedades que podrían

retrasar su crecimiento o en última instancia conducir a la muerte (Magaña-Monforte et al., 2018). En este sentido, se incrementa la tasa de mortalidad de los corderos, siendo el síndrome de inanición-exposición la principal causa de muerte (Macedo & Arredondo, 2010; Nava-López et al., 2006;).

### **2.3.2. Sexo**

El sexo del cordero es un factor determinante en el crecimiento prenatal, los machos presentan mayor tasa de crecimiento del esqueleto, debido a la liberación de testosterona por el gen sry (de Zengher et al., 1999; Loos et al., 2001). Este mayor desarrollo *in útero* en machos se ve reflejado sobre el PN en un 3.1 % con relación al peso de hembras (García-Chávez et al., 2020; García-Osorio et al., 2016; Ríos-Uretra et al., 2014; Hinojosa-Cuellar et al., 2018). Durante la etapa pos-natal, las diferencias en peso entre sexos se incrementan hasta el destete, de tal manera que los machos presentan PD superior al 9% en relación al de las hembras (Jucá et al., 2014; Macedo & Arredondo, 2008). Esta superioridad del crecimiento es el resultado de la liberación de hormonas sexuales de las gónadas, las cuales incrementa el desarrollo muscular a favor de los machos, quienes tienen mayor peso del tracto gastrointestinal vacío en relación con las hembras, así como de una mayor velocidad de crecimiento y tamaño (García-Osorio et al., 2016; Hinojosa-Cuellar et al., 2018).

### **2.3.3. Tipo de nacimiento**

Detectar en tiempo oportuno el número de fetos que gesta las ovejas es clave para establecer el manejo de las hembras gestantes y las estrategias de alimentación en el rebaño (Martín et al., 2004). Lo anterior con el objetivo de asegurar adecuado desarrollo de fetos sin comprometer el estado físico de las madres y asegurar la sobrevivencia de mayor número de corderos recién nacidos como sea posible (Martín et al., 2004), así mismo ayuda a mejorar la productividad de las ovejas al aumentar el tamaño de la camada al destete (Hinojosa-Cuellar et al., 2015).

Los corderos que provienen de parto único muestran ventaja en la eficiencia de crecimiento pre-natal con respecto a los de parto múltiple (dos o tres corderos) (Ríos-Uretra et al., 2014). En este sentido, puede existir una superioridad en el PN de los corderos provenientes de nacimiento sencillo de 10.56 % en relación con los corderos provenientes de nacimientos múltiples (Chay-Canul et al., 2020; González-Domínguez et al., 2016; Hinojosa-Cuellar *et al.*, 2012; Macías-Cruz et al., 2012; Quintanilla-Medina et al., 2018;). La disminución del PN de crías provenientes de partos múltiples se debe a la capacidad del espacio uterino para el crecimiento y desarrollo de los fetos, así como de una programación fetal de retardo en el crecimiento de las crías en el periodo pre-natal (Gardner et al., 2007; Macías-Cruz et al. 2017). Sin embargo, esta diferencia del PN a favor de corderos de nacimiento sencillo con respecto a corderos múltiples puede disminuir en el periodo pre-destete, de tal forma que en ocasiones la GDP y el PD resultan similares (Ríos-Uretra et al., 2014). La producción de leche de las ovejas con más de un cordero es mayor al de ovejas con un solo cordero, sin embargo, la cantidad de leche que produce debe de dividirse entre las dos crías. Al respecto, en los corderos gemelos la frecuencia de amamantamiento es mayor que la registrada en corderos de parto simple durante las primeras tres semanas de vida. Es posible que los corderos de partos múltiples estimulen con mayor frecuencia la glándula mamaria y lograr un consumo similar al de los corderos sencillos, lo que explica la ausencia de influencia del tipo de nacimiento sobre la GDP y PD (Ríos-Uretra et al., 2014; Chay-Canul et al., 2019). Adicionalmente, se debe de emplear un mejoramiento en el manejo y sistema de crías del rebaño para reducir las posibilidades de muerte especialmente a los 30 días pos-parto (Macías-Cruz et al., 2012; Magaña-Monforte et al., 2013).

#### **2.3.4. Numero de parto**

El número de partos refleja la eficiencia de la vida productiva de la oveja, así como el crecimiento de las crías (López-Leyva et al., 2017). El número de parto incrementa la GDP y PD en los corderos de ovejas múltiparas en un 115.4 y 111.7 % respectivamente en comparación con ovejas primíparas (Cadenas-Cruz et al., 2012;

García-Chávez et al., 2020; Oliva-Hernández et al., 2016). Esto puede ser atribuido a la edad de la oveja, a medida que la oveja alcanza su desarrollo corporal se hace más eficiente para producir más leche y expresar su habilidad materna (Cadenas-Cruz et al., 2012). Por el contrario, las ovejas primíparas aún no alcanzan su peso adulto, y sus requerimientos nutricionales son mayores por que aún se encuentran en crecimiento (López-Leyva et al., 2017). En consecuencia, estas ovejas no destinan la cantidad adecuada de nutrientes para el crecimiento y desarrollo del feto (García-Chávez et al., 2020). Además, el útero de las ovejas primíparas es de menor tamaño, menor flexibilidad, originando la falta de espacio uterino, lo que limita la capacidad de crecimiento fetal, en consecuencia, nacen corderos de menor talla y peso al nacimiento (Gootwine & Rozov, 2006). Adicionalmente, se considera que a partir del segundo parto se mejora la productividad de la oveja al destete, debido a que el útero presenta un mayor tamaño y se encuentra más vascularizado, facilitando el flujo de un mayor volumen de sangre para el desarrollo del feto (García-Chávez et al., 2020; López-Leyva et al., 2017).

#### **2.4. Cambios en las medidas zoométricas asociadas al crecimiento**

El crecimiento se calcula como el cambio en peso durante un intervalo de tiempo específico o como un cambio de tamaño del cuerpo (López-Carlos et al., 2010). Las medidas zoométricas son mediciones lineales corporales que miden características morfológicas y su variación interindividual o cambios intraindividuales a lo largo del tiempo (Hjalmar & Burghardt, 2013). Las características de la estructura externa de los ovinos son importantes para definir características fenotípicas entre razas, además de que ayudan a monitorear el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los ovinos (Fernández-Álvarez et al., 2020). Aunado a lo anterior, al ser consideradas junto con parámetros morfológicos y fisiológicos, establecen una importante base de datos para la evaluación de diferentes razas ovinas en términos de genética y nutrición, pero cuando se analizan las medidas zoométricas en función de la edad pueden ayudar a comprender el crecimiento y el potencial para producción de carne (Teixeira Neto, 2010). Además, la asociación de medidas

zoométricas y peso corporal describen detalladamente el desarrollo individual del ovino (Silva, 2010).

Las medidas zoométricas más usadas son alzadas o alturas, diámetros (longitudes-transversales) y perímetros; de las cuatro regiones de un animal (cabeza, cuello, tronco y extremidades) (Aliaga, 2006). Las mediciones de altura establecen la alzada del animal, especialmente de las extremidades. Las medidas de longitud, evalúan la distancia entre puntos corporales de manera longitudinal y las medidas de anchura evalúan la distancia entre puntos corporales transversales al eje longitudinal del cuerpo, mientras que medidas de perímetros evalúan el contorno (Torrent, 1982). Sin embargo, estas regiones corporales conservan una relación de dependencia entre ellas, el ambiente y manejo del rebaño (Alencastre, 1991).

Se han utilizado varias medidas zoométricas para evaluar el crecimiento como base para orientar la toma de decisiones en el desarrollo ganadero y programas de mejoramiento genético (Arredondo-Ruiz et al., 2013). Las principales medidas zoométricas utilizadas son la longitud corporal, altura de la grupa y la cruz, y perímetro torácico (Rocha et al., 2003). El crecimiento hasta la edad adulta según algunos autores, se determina con mayor precisión utilizando la longitud corporal, altura a la grupa y cruz; debido a que el peso y la deposición de grasa subcutánea pueden mostrar fluctuaciones periódicas en función del estado nutricional (Araújo Filho et al., 2007; Rocha et al., 2003). Por otro lado, el perímetro torácico se ha considerado la medida más precisa para determinar el crecimiento muscular, ya que la longitud y altura varían en función del crecimiento esquelético, alcanzando un umbral de madurez, mientras que la circunferencia del pecho está determinada en función del crecimiento muscular (Chay-Canul et al., 2019; López-Carlos et al., 2010;).

Las medidas zoométricas pueden variar de acuerdo al tipo y función de los ovinos (Arredondo-Ruiz et al., 2013). El perímetro torácico es mayor o más circular en ovinos destinados a la producción de carne, pero es más pequeña o más elíptica para ovinos dedicados a la producción de leche (Sañudo, 2009). La relación del perímetro de la caña y perímetro torácico permiten describir la masa del individuo y



las extremidades que la sostienen, para lo cual animales con medidas menores indican que presentan extremidades altas y ligeras (altura a la cruz y grupa), indicando que tienen piernas más altas y livianas; por lo que los animales son más liviano y tienden a mostrar un tipo de velocidad en el movimiento corporal; pero si se tiene un incremento en estas medidas corporales, hacen referencia a un animal de fuerza (Bravo & Sepúlveda, 2010; Jarquin et al., 2019). Adicionalmente, estas medidas se relacionan con la capacidad que tienen los ovinos a desplazarse largas distancias, siendo características importantes para ovinos desarrollados en sistemas extensivos de producción (Sañudo, 2009).

La proporción entre el ancho y longitud de la grupa se relaciona con la habilidad reproductiva, además es una región que concentra más músculo y es importante en el valor de ovinos para carne (Araújo et al., 2014, Rezende et al., 2017). Por otro lado, los machos presentan mayor altura sobre las extremidades y cuerpos más anchos pero cortos a medida que van creciendo, mientras que las hembras son más altas, anchas y largas (Dzib et al., 2011). La longitud del cuerpo se estabiliza a medida que el crecimiento óseo se detiene, mientras que el perímetro torácico continúa aumentando incluso si el crecimiento óseo se estabiliza (Dauda, 2018). El perímetro torácico indica el potencial genético del animal, debido a que si incrementa este valor también aumenta el peso vivo del ovino. De esta manera, el perímetro torácico está más relacionado con el peso vivo, y es mayor en dietas con niveles altos de energía, porque existe una mayor deposición de esta en los tejidos (García et al., 2000).

En general, los ovinos de pelo son considerados razas de talla media en comparación con ovinos de lana (Aguilar-Martínez et al., 2017). Entre estas razas existen diferencias en cuanto a las medidas zoométricas de acuerdo al tipo y función. En este sentido, la raza Dorper presentan una mayor corpulencia, es decir, un peso adulto de 58kg, perímetro torácico de 87cm, largo del cuerpo (74 cm), pero una menor altura a la cruz (65 cm) y altura de la grupa (64 cm) en comparación con la raza Katahdin, porque, aunque esta raza presenta un menor peso adulto (53 kg) en comparación con la raza Dorper, las medidas de largo del cuerpo (73 cm), altura a la cruz (67 cm) y altura a la grupa (65 cm) son mayores. En tanto, la raza Pelibuey es

de menor tamaño en comparación a las razas anteriores con pesos adultos de 42 kg, largo del cuerpo de 64 cm, altura a la cruz de 65 cm y altura a la grupa de 64 cm (Vilaboa Arroniz et al., 2010).

Estas mediciones pueden usarse como criterios de selección indirectos para determinar la idoneidad de ovinos para selección en programas de mejoramiento genético (Shirzeyli et al., 2013). En este sentido, se han establecido asociaciones de las medidas zoométricas con el PV, las cuales en campo tienen que ser en poca cantidad, sencillas de obtener, y de ser lo más representativas posibles (Montellano, 2005). Cabe mencionar que actualmente existen pocos estudios que describen la asociación de las medidas zoométricas con el potencial de crecimiento (Afolayan et al., 2006; Cam et al., 2010a; Kunene et al., 2009). Por ejemplo, en ovinos de cuatro razas de lana iraní, la longitud del cuerpo ( $r = 0.96$ ) y la circunferencia del tórax ( $r = 0.94$ ) tuvieron una alta correlación con el peso corporal de las ovejas, mientras que para la altura de la cruz ( $0.93$ ) y ancho de la grupa fue menor ( $r = 0.79$ ) (Shirzeyli et al., 2013). Por otro lado, el sexo, raza y alimentación pueden generar algunos efectos sobre la asociación de las medidas zoométricas con el peso vivo. Al respecto, en ovinos Cornigliese desde el nacimiento hasta la edad adulta, los machos presentaron mayor asociación de la circunferencia del pecho ( $r = 0.95$ ) y la altura a la cruz ( $r = 0.89$ ) con el peso vivo en comparación con las hembras (Sabbioni et al., 2020). En tanto, para ovinos de pelo, existen pocos estudios que describen la asociación entre medidas zoométricas y el peso vivo. Al respecto, en corderos de la raza Pelibuey la circunferencia torácica ( $r = 0.79$ ) es la medida que tiene una mayor asociación con el peso vivo (Hernández-Espinoza et al., 2012). De manera similar, en ovejas Pelibuey adultas la circunferencia torácica es altamente correlacionada con el peso vivo (Chay-Canul et al., 2019).

## **2.5. Balance térmico**

Los animales endotérmicos generan calor a través del metabolismo y conservan o disipan calor en función de las condiciones ambientales y fisiológicas (Cook et al., 2020). La temperatura corporal interna es la principal variable que mide

la cantidad de calor almacenado o pérdidas para mantener el balance térmico (Vicente-Pérez et al., 2016). La temperatura corporal es regulada por el centro de termorregulación localizado en el hipotálamo, su función es mantener condiciones de homeotermia cuando existen cambios en la temperatura ambiente (Aggarwal & Upadhyay, 2013; Boulant, 2000). El aumento de la temperatura corporal promueve activación de mecanismo de termorregulación tales como: vasodilatación periférica, sudoración, jadeo, aumento de frecuencia respiratoria y disminución del consumo de alimento (Boulant, 2000). En contraste, una disminución de la temperatura corporal da origen a un proceso de vasoconstricción periférica, incremento de la producción de calor metabólico y termogénesis (Shibasaki et al., 2013). El balance térmico se regula mediante el intercambio de energía del organismo al entorno que lo rodea por convección, conducción, radiación, y activación de mecanismos evaporativos (Macías-Cruz et al., 2018). En condiciones termoneutrales, los animales no experimentan ningún esfuerzo para disipar el calor excedente del cuerpo, los intercambios de calor mediante convección, conducción y radiación son suficientes para regular la temperatura corporal interna (Morbeg & Mench, 2000). Sin embargo, al incrementar la temperatura ambiente para disipar el calor acumulado se tiene que activar mecanismos de termorregulación conductuales y fisiológicos, así como ajustes de tipo endocrinológico y metabólico (Marai et al., 2007; Vicente-Pérez et al., 2020).

En ovinos, la temperatura corporal oscila alrededor de 38 a 39.1 °C, cuando se encuentran en condiciones de termoneutralidad y dentro de una zona de confort térmico de 5 a 30°C (Aggarwal & Upadhyay, 2013; Renaudeau et al., 2012;). Aunado a lo anterior, los ovinos conservan estas temperaturas corporales por medio de la redistribución sanguínea periférica disipando el exceso de la carga de calor mediante la piel por transferencias de calor sensible (radiación, convección, conducción) (Al-Dawood, 2017). Los ovinos de pelo pierden calor mediante radiación y conducción, pero en ovinos de lana la pérdida de calor corporal ocurre por convección, debido a que la lana funciona como aislante y esto a su vez hace menos eficiente la regulación de la temperatura corporal interna en comparación con las razas de pelo (Romero et al., 2013; Vicente-Pérez et al., 2019).

Cabe destacar que los ovinos de pelo a diferencia de razas de lana, poseen rasgos genéticos y fenotípicos que les permiten ser más eficientes para perder calor en condiciones de altas temperaturas ambientales. Entre las adaptaciones genéticas que confieren termotolerancia a los ovinos de pelo destaca la portabilidad de genes asociadas a proteínas de choque térmico o chaperonas (HSP70), las cuales brindan protección celular para evitar apoptosis (Romero et al., 2013). Se sugiere que la tolerancia a altas temperaturas que poseen los ovinos de pelo puede deberse a genes asociados a la pigmentación de la piel y coloración de pelaje (FGF2, GNA13, PLCB1), incluso genes metabólicos (MYT, TRHDE, ALDH1A3 y GRP50) que influyen en procesos digestivos y en el metabolismo de energía (Vicente-Pérez et al., 2020). Además, los ovinos de pelo pueden perder hasta 10% del calor acumulado a través de sudoración, sin embargo, entre el 60-90% de pérdida de calor total ocurre a través de evaporación de calor a través del tracto respiratorio (Vicente-Pérez et al., 2020). Incluso para condiciones de calor extremo los ovinos de pelo desarrollaron mecanismo de heterotermia adaptativa, la cual consiste en activar la pérdida de calor a través del tracto respiratorio en horarios más frescos y nula radiación solar para evitar deshidratación, tal como ocurre en animales adaptados a condiciones desérticas (Macías-Cruz et al., 2016)

## **2.6. Cambios en la temperatura corporal asociados con el crecimiento**

Las pérdidas de calor al medio ambiente se producen a través de varios mecanismos, uno de los cuales es el calor radiante, el cual puede reflejar procesos metabólicos en distintas etapas de crecimiento (Cook et al., 2016). El metabolismo es el componente fisiológico más grande que influye en la ganancia o pérdida de peso, pero también representa la producción y pérdida de calor corporal (Basarab et al., 2003; Nkrumah et al., 2006). Los ovinos en crecimiento con respecto a animales adultos, exhiben mayor producción de calor metabólico, en consecuencia, disipan mayor cantidad de calor al ambiente a través de la piel (Macías-Cruz et al., 2018). Los animales en crecimiento poseen mayor área de superficie para disipar la carga de calor con respecto a los animales adultos, pero no tienen control total de su

sistema termorregulatorio.

Los rumiantes recién nacidos y jóvenes presentan dificultades para regular su temperatura corporal respecto a animales adultos, lo cual se debe a que al nacimiento el centro de termorregulación aun es inmaduro y este madura conforme van creciendo y experimentando cambios de condiciones ambientales. La capacidad de control del centro hipotalámico de termorregulación en corderos se alcanza después de los tres meses de edad (Macías-Cruz et al., 2018). En general, los corderos recién nacidos poseen temperaturas elevadas, el cual desciende horas post-parto, pero al no tener capacidad termorregulatoria no mantienen un ritmo circadiano constante como ocurre en animales adultos (Macías-Cruz et al., 2018). Esta condición hace que los corderos recién nacidos pierdan cantidades importantes de calor por radiación cuando son expuestos a bajas temperaturas, generando alto riesgo de morir por hipotermia si mecanismos bioquímicos y termólisis no son activados, aunado al consumo de calostro para obtener energía (Vicente-Pérez et al., 2019). No obstante, es importante mencionar que corderos de menor peso tienden a perder más calor debido a que tienen mayor área de superficie corporal (Macías-Cruz et al., 2018; Vicente-Pérez et al., 2019). Por otro lado, corderas en crecimiento al no tener control total del sistema termorregulatorio, cuando se presentan condiciones de altas temperaturas realizan mucho esfuerzo para evitar hipertermia, lo cual puede ser exhausto al punto de provocarles la muerte (Macías-Cruz et al., 2018). Así, la capacidad de los animales jóvenes para conservar o liberar el calor corporal se encuentra limitada por la falta de maduración del centro termorregulatorio y por la mayor área de superficie corporal.

Existe relación entre la temperatura irradiada y los procesos metabólicos, sobre las eficiencias de crecimiento, es que los animales eficientes en la alimentación expresan una temperatura irradiada más baja por que convierten más energía en crecimiento y es menos probable que pierdan energía en el ambiente (Montanholi et al., 2009). Además, animales más eficientes utilizan menos energía para mantener la temperatura corporal central y el exceso de energía se pierde en el medio ambiente en forma de calor radiante (Martello et al., 2016). Por el contrario, animales menos eficientes en el uso de energía para crecimiento, tienden a ser más

eficientes para mantener la temperatura corporal central debido a que pierden más energía en forma de calor radiante (Cook et al., 2020).

## **2.7. Termografía corporal y crecimiento**

La termografía infrarroja (TI) es una herramienta tecnológica moderna no invasiva de reciente utilización en la producción animal que permite calcular y determinar la variación de temperatura de la superficie del cuerpo de los animales (MacManus et al., 2016; Stewart et al., 2007). El fin de esta técnica es emplear una cámara termográfica que detecta la radiación infrarroja de la superficie emitida por objetos u organismos, utilizando estos datos para obtener en forma de imágenes un valor estimado de la temperatura (termogramas) mediante un software especializado (Knížková et al., 2007). Los termogramas permiten explorar los valores obtenidos de temperaturas promedios de diferentes áreas de la superficie corporal (MacManus et al., 2016). La radiación infrarroja es el reflejo de la temperatura generada por los cuerpos, la cual depende de la emisividad de la piel del animal (Ordoñez, 2012; Poikalainene et al., 2012). La emisividad permite evaluar la capacidad de un objeto para emitir y absorber radiación infrarroja, relacionando la radiación emitida por una superficie y la de un cuerpo negro ideal a la misma temperatura, considerando que se emite más energía infrarroja si un cuerpo está más caliente (Raja, 2013).

El uso de la TI genera cierto grado de precisión cuando se tienen los cuidados pertinentes, demostrando ser un procedimiento factible, consistente y rápido para estimar la temperatura de la superficie corporal (Luciane et al., 2010; MacManus et al., 2016). De esta manera, se han examinado algunas ventajas de esta tecnología como un método no invasivo, con bajo riesgo de propagar enfermedades infecciosas, evitar la manipulación y o sujeción de los animales, no altera la conducta del animal y se realiza la captura de imágenes a distancia (Martello *et al.*, 2016; Schaefer et al., 2012; Silva et al., 2016). En rumiantes, la TI ha facilitado la detección mastitis, lesiones pódales, animales estresados por calor, y en general enfermedades o infecciones que generan inflamación, enrojecimiento e incremento de temperatura en regiones corporales afectadas (Fuentes et al., 2020; Martello et al., 2016; Olivarez-

Mendoza et al., 2014; Silva et al., 2019).

Algunos estudios sugieren que a través de TI se puede monitorear pérdidas de calor asociadas a consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia, tanto en ganada lechero (Lage et al., 2020; Leao et al., 2018), bovinos carne (Martello et al., 2016; Paim et al., 2018) y ovinos (Menant et al., 2020; Paim et al., 2014). En estos estudios se concluyó que animales más eficientes en el uso de energía irradian menos calor a través de la superficie corporal, en consecuencia, exhiben menor temperatura medida con TI. Información disponible en la literatura sobre el uso de TI en corderos de pelo es escasa (Vicente-Pérez et al., 2019), siendo nula la información sobre el uso de esta herramienta tecnológica en investigaciones asociadas a evaluar el crecimiento de corderos en el periodo pre-destete. Por ello, se debe desarrollar investigaciones encaminadas a determinar asociaciones entre temperaturas de superficie corporal medidas por TI y el crecimiento pre-destete de corderos de pelo, periodo en el que los corderos no tienen totalmente desarrollado su mecanismo termorregulatorio.

## **2.8. Desarrollo de ecuaciones de predicción del potencial de crecimiento**

La medición del potencial de crecimiento en ovinos requiere de alta tecnología, generando un incremento sobre los costos de producción, ya que se debe de invertir en el desarrollo de metodologías para emplear marcadores moleculares específicos en generaciones subsecuentes que ayuden a incrementar la productividad del rebaño (Jahuey-Martínez et al., 2020). Por lo tanto, es importante desarrollar herramientas que permitan disminuir los costos de producción y que a su vez sean de fácil ejecución por los productores (Yilmaz et al., 2013).

El desarrollo de ecuaciones de predicción mediante el análisis multivariado representa un método para predecir indicadores de crecimiento en la producción animal (Bautista-Díaz et al., 2020). Las ecuaciones de predicción se han utilizado en la estimación del peso vivo y de la ganancia diaria de peso en bovinos, ovinos y caprinos (Chay-Canul et al., 2020; Souza et al., 2013; Yilmaz et al., 2013). Sin embargo, las ecuaciones desarrolladas han sido empleadas para una raza en

específico, etapa fisiológica o sexo, generando algunas variaciones en su precisión (Souza et al., 2013). Aunado a lo anterior, la validación de estas ecuaciones de predicción también requiere de un análisis de acuerdo a las variables utilizadas como regresoras para no generar sesgos en la estimación (Tedeschi et al., 2006).

Las ecuaciones de predicción permiten utilizar distintas variables predictoras, las cuales al momento de ser empleadas no incrementen los costos de producción. De esta manera, se convierten en una herramienta útil para el incremento de la rentabilidad del rebaño (Ordoñez-Gómez, 2018). En este sentido, algunas posibles variables predictoras que se pueden utilizar en la predicción del potencial de crecimiento son las medidas zoométricas (altura a la cruz, largo del cuerpo, perímetro del tórax), ya que han mostrado relaciones altas con la ganancia diaria de peso, el peso vivo y peso al destete (Ordoñez-Gómez et al., 2018; Sabbioni et al., 2020; Souza et al., 2013). Adicionalmente, la termografía infrarroja también se asocia con el potencial de crecimiento (Menant et al., 2020). En este sentido, estas variables pueden ser utilizadas en el desarrollo de ecuaciones de predicción, debido a que son fáciles de medir a nivel de campo (Montanholi et al., 2009; Yilmaz et al., 2013). Por otra parte, se debe de considerar que el potencial de crecimiento, está determinado por diversos factores, como el genotipo, el sexo y el ambiente (Hinojosa-Cuellar et al., 2018). Por lo tanto, es importante incluir estas variables como predictoras en las ecuaciones de predicción del peso vivo y ganancia diaria de peso.

Actualmente existen pocos estudios que han desarrollado ecuaciones de predicción para el potencial de crecimiento pre-destete. Además estas, ecuaciones se limitan a predecir el peso vivo en un periodo específico (Souza et al., 2013). En este sentido, se requiere desarrollar ecuaciones del potencial de crecimiento a una edad temprana con el objetivo de mejorar el potencial de crecimiento de los corderos, así como la productividad de la oveja. Actualmente, podemos encontrar que las ecuaciones de peso vivo al destete y la ganancia diaria de peso pre-destete utilizan medidas zoométricas como variables predictoras y no hay ecuaciones de predicción que utilicen a la termografía (Menant et al., 2020; Ordoñez-Gómez et al., 2018; Sabbioni et al., 2020; Souza et al., 2013). Por ejemplo, a través de la regresión lineal simple, el largo del cuerpo y circunferencia torácica fueron usadas para predecir el



peso vivo de corderos productores de carne de diferentes razas con un ajuste predictivo alto basado en los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0.96 y 0.98, respectivamente (Souza et al., 2009). En tanto, para estimar la ganancia diaria de peso (GDP) en corderas de pelo cruzadas, por regresión lineal múltiple se desarrolló con un coeficiente de determinación ajustada alta ( $R^2$  adj.=0.92) una ecuación de predicción usando la circunferencia torácica, perímetro de la caña, longitud del cuerpo y longitud de la grupa (Ordoñez-Gomez, 2018). Por otro lado, en corderos Kajli se estimó el peso vivo con una precisión alta, utilizando la longitud del cuerpo con la altura de la cruz en hembras ( $R^2= 0.74$ ) y para machos altura de la cruz con la circunferencia torácica ( $R^2=0.89$ ) (Iqbal et al., 2014). Sin embargo, estas ecuaciones predictivas para corderos, estiman el potencial de crecimiento al destete y después del destete.

Por otro lado, la termografía permite medir la pérdida de calor irradiada de cualquier superficie corporal de los animales (McManus et al., 2016). De esta manera, las temperaturas de la superficie corporal se han asociado con características de crecimiento (Menant et al., 2020; Paim et al., 2014, 2018; Vicente-Pérez et al., 2019) y eficiencia alimenticia (Cook et al., 2020; Martello et al., 2016; Montanholi et al., 2009, 2010; Schaefer et al., 2018; Thompson et al., 2018). Vicente-Pérez et al. (2019) informaron que en corderos de pelo las temperaturas de la cabeza ( $r=0.27$ ) y el ojo ( $r=0.25$ ) estaban asociadas con el peso al nacimiento. Por otra parte, Menant *et al.* (2020) encontraron en corderos de lana una mayor asociación de la temperatura de la grupa ( $r=0.75$ ) con el peso al nacimiento. Adicionalmente, Paim et al. (2014) indicaron que en el periodo pre-destete en corderos, el peso vivo se asociaba con la temperatura del flanco delantero ( $r=0.19$ ) y trasero ( $r=0.16$ ), mientras que la GDP presento mayor asociación con la temperatura del ojo ( $r=0.12$ ).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

El estudio se realizó en el “Rancho el Tilzapote”, ubicado en la localidad de Ayutita, al norte de la ciudad de Autlán de Navarro, Jalisco. La región posee una temperatura media anual de 23.5°C y precipitación media anual de 729.1mm. Su posición geográfica se encuentra entre las coordenadas 19°48´de latitud norte y 104°24´de longitud Oeste. En general, el cuidado y manejo de los animales se efectuó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 (especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio).

#### 3.2. Animales, manejo e instalaciones

En el estudio se utilizaron 221 corderos (hembras = 121; machos= 100) del genotipo Katahdin (n=92) y Dorper x Katahdin (n= 129) nacidos en los meses de abril, mayo, agosto, diciembre y enero. En general, las madres de los corderos utilizados se manejan bajo empadre continuo, por lo que los partos se distribuyen a través de algunos meses del año.

La alimentación de las ovejas durante la mayor parte del año se basó en proporcionar a libre acceso ensilado de maíz sin grano en corrales. No obstante, entre los meses de julio y octubre cuando hay mayor disponibilidad de pastos debido a las lluvias del temporal, la mayoría de las ovejas pastorean durante el día en potreros de pastos nativos con acceso a bancos de proteína de Guaje (*Leucaena leucocephala*), excepto las ovejas próximas a parto y las que se encontraban en el periodo de lactancia. Las ovejas gestantes con desarrollo evidente de las glándulas mamarias fueron separadas del rebaño y agrupadas en corrales de parideras para ser alimentadas con el mismo ensilado de maíz a libre acceso más 300 gr/oveja/día de un concentrado energético-proteico. Durante la lactancia las ovejas permanecieron estabuladas, continuaron con la alimentación a libre acceso de ensilado de maíz sin grano, pero la cantidad de concentrado ofrecido por oveja fue de 700 gr/oveja/día. El suplemento concentrado (energía metabolizable EM = 3.0

Mcal/kg de MS y proteína cruda PC = 380 g/kg de MS) se formuló con 50% de pasta de soya, 23% de canola molida, 19% de maíz molido, 4% de minerales, 1% de urea y 3% de aceite. Los corderos tuvieron acceso libre a un alimento iniciador (“creep-feeding”) a partir de la segunda semana pos-parto hasta el día del destete (día 80 post-parto). El creep-feeding contenía 3.5 Mcal de EM /kg de MS y 210 g de PC /kg de MS, el cual fue formulado con 30% de pasta de soya, 63% de maíz, 2% de gluten, 2% de aceite, 2% de minerales y 1% de sustituto de leche. Los corrales donde permanecieron las crías con sus madres del nacimiento al destete estaban provistos de sombra, comederos, bebederos, para una alimentación y disponibilidad de agua a libre acceso

### **3.3. Colección de datos**

En las primeras 24 horas después del nacimiento, los corderos se aretarón en la oreja izquierda, con un arete metálico numerado en serie para ser registrados en una bitácora junto con la fecha de nacimiento, sexo, genotipo, tipo de nacimiento y peso al nacimiento (PN). Posteriormente, al día 10, 20 y 30 post-parto, se registró por las mañanas (0700 h) el peso vivo (PV) y la temperatura rectal, asimismo con una cinta métrica flexible se midió la longitud del dorso y la altura de la cruz. El PV se determinó usando una báscula digital colgante (Torrey® de capacidad de 200 kg). La temperatura rectal se midió introduciendo rectalmente un termómetro digital (Delta Track, CA®, USA) durante un minuto. En cada muestreo usando una cámara termográfica de infrarrojo (Fluke TiR1, USA) se capturaron para cada cordero fotos de la cabeza, flanco izquierdo y región posterior, a una distancia de 0.5m, 1.5m, 1.0m, respectivamente (Figura 1). Estas imágenes fueron almacenadas en un ordenador y posteriormente analizadas usando el software Fluke SmartView® 4.3 para determinar temperaturas de diferentes regiones corporales (cabeza completa, ojo, morro, cuerpo entero, pierna, vientre, espacio intercostal, peri-anal, área trasera y región posterior de la pierna). Al destete, se registró la fecha de destete y PV de destete (PD). La información del PD se usó para estimar el PD ajustado (PDa) a los

80 días de acuerdo a la metodología descrita por Hinojosa-Cuellar et al. (2015), utilizando la siguiente ecuación:

$$PDa = (PD - PN) t / E_d + PN$$

Donde:

PDa= Peso ajustado al destete (kg)

PD=peso al destete (kg)

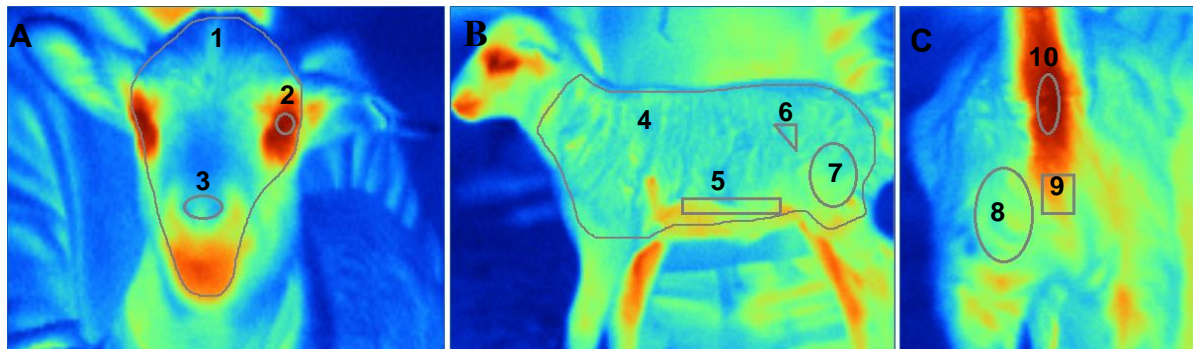
PN=peso al nacimiento (kg)

t=edad de ajuste (80 días)

$E_d$ = edad del cordero.

El PDa se utilizó para estimar la ganancia diaria de peso (GDP) a través de dividir la diferencia del PDa - PN entre 80 días.

Finalmente, se colocaron hidrógrafos (EXTECH®, RTH10) bajo la sombra en el corral de los corderos para el registro de la temperatura ambiental (T, °C) y la humedad relativa (HR, %) cada 20 min durante todo el periodo pre-destete. Con la información se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH):  $ITH = 0.81 \times T + HR (T - 14.40) + 46.40$  (Hahn, 1999). Adicionalmente, con esta información se calcularon las variables climáticas promedio acumuladas desde el nacimiento hasta cada día de registro de los datos (10, 20 y 30 post-nacimiento).



**Figura 1.** Termografía infrarroja de diferentes partes del cuerpo de corderos de pelo: A [cabeza (1), ojo (2), morro (3)], B [cuerpo (4), vientre (5), espacio intercostal (6), pierna (7)] y C [región posterior de la pierna (8), área trasera (9), peri-anal (10)].

### 3.4. Análisis estadístico

En el análisis estadístico se aplicaron diferentes procedimientos del paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013). Inicialmente, se probó la normalidad para todas las variables de estudio usando el PROC UNIVARIATE. Posteriormente, se aplicó un análisis de estadística descriptiva a través del procedimiento MEANS, el cual arrojó medias, desviaciones estándar y los coeficientes de variación (CV) tanto para variables dependientes e independientes. A través del PROC CORR se realizó un análisis de correlaciones de Pearson entre las variables dependientes (PD y GDP) y las variables independientes (variables de crecimiento, medidas zoométricas, temperaturas y variables climáticas). El coeficiente de correlación fue declarado significativo a  $P \leq 0.05$  y fue clasificado como alto ( $r > 0.68$ ), moderado ( $0.36 < r < 0.67$ ) y bajo ( $r < 0.35$ ) de acuerdo a los valores estimados (Taylor, 1990). Posteriormente, se aplicaron los procedimientos PROC REG y la selección de variables independientes paso a paso (STEPWISE) para obtener modelos de regresión lineal para predecir PD y la GDP pre-destete a los 10, 20 y 30 días post-nacimiento. El STEPWISE generó varios modelos de regresión lineal simple y múltiple, pero solamente se extrajeron los mejores modelos de predicción por día de muestro por variable, es decir, tres modelos de predicción por variable dependiente. Para elegir los mejores modelos que arrojó el STEPWISE se consideró los modelos con los mayores coeficientes de determinación ( $R^2$ ), menor raíz cuadrada media del error (RMSE) y con el estadístico C(p) de Mallows más cercano al número de parámetros incluidos en la ecuación de predicción. Los mejores modelos de predicción fueron ajustados a través de un análisis de residuales, donde los valores atípicos y los datos influyentes fueron identificados y eliminados cuando el valor de dos o más indicadores (es decir, R Student, Leverage, DFFITS, COVRATIO, DFBETAS y D COOK) en una sola observación estaban fuera

de rango (Myers, 1990). Los análisis de regresión se completaron nuevamente después de la eliminación de una observación y la bondad de ajuste de los modelos de predicción fueron verificados examinando el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj), RMSE, CV, prueba de Durbin Watson (DW), factor de inflación de la varianza (VIF) y tolerancia (TOL). Si los parámetros del modelo de regresión mejoraron después de la eliminación inicial de un valor atípico, entonces se eliminó del conjunto de datos. Este procedimiento se repitió para cada valor atípico hasta que no existieran mejoras significativas en los modelos considerando un mayor  $R^2$  y disminución del RMSE. Posteriormente, a los modelos de regresión ajustados se les realizó un análisis de variables binarias considerando al sexo (macho = 0 y hembra = 1) y genotipo (Katahdin = 0 y Dorper x Katahdin = 1) como variables regresoras. Si los modelos de regresión ajustados para predecir el PD y GDP pre-destete presentaron diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) de variables binarias (sexo y genotipo), se generaron modelos independientes para sexo y genotipo. Finalmente, se realizó la prueba de bondad de ajuste para examinar la presencia de error puro y la existencia de relación de primer orden entre variables dependientes y regresoras (Kutner et al., 2005). La multicolinealidad se verificó con la VIF y TOL para cada variable independiente que integran los modelos de predicción de PD y GDP pre-destete. Adicionalmente, la precisión del modelo de regresión ajustado para predecir el PD y GDP pre-destete fue evaluado y validado mediante un análisis de comparación de los valores predichos y observados. Además, se realizaron gráficos de residuos (observado- predicho y residual de Student) en el modelo de regresión final para predecir el PD y la GDP pre-destete.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Estadísticos descriptivos

En el Cuadro 2 se presentan los estadísticos descriptivos de las variables de crecimiento pre-destete en general. Los promedios  $\pm$  desviaciones estándar para PN, PD y GDP fueron  $4.16 \pm 0.96$ ,  $25.23 \pm 5.6$  y  $0.29 \pm 0.07$  kg, respectivamente. Los coeficientes de variación (CV) para esas variables fueron similares en el rango de 22.19 a 23.14 %.

**Cuadro 2.** Estadísticos descriptivos de variables de crecimiento durante el pre-destete en ovinos de pelo (n=221).

	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
Peso al nacimiento (kg)	4.16	0.96	23.07
Peso al destete (kg)	25.23	5.6	22.19
Ganancia diaria de peso (kg)	0.29	0.07	23.14

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los estadísticos descriptivos de variables registradas directamente en las crías y de condiciones climáticas a diferentes tiempos del periodo pre-destete temprano (día 10, 20 y 30 post-nacimiento). Entre el día 10 y 30, las medias y los CV de PV ( $\mu = 5.7$  a  $10.0$  kg y CV= 24.6 a 30.6 %) y GDP ( $\mu = 0.17$  a  $0.22$  kg y CV= 47.1 a 59.1 %) aumentaron. Las medias de largo de dorso (36.6 a 43.2 cm) y altura a la cruz (41.1 a 46.7 cm) a través del periodo pre-destete temprano siguieron el mismo comportamiento que lo observado en variables de crecimiento, pero los CV fueron menores y más consistente a través de los días de medición (6.0 a 9.1 %).

En el caso de las condiciones climáticas, la temperatura ambiente osciló entre 22.4 y 23.4 °C, la HR de 56.4 a 56.7 % y el ITH entre 69.0 y 70.2 unidades en el periodo pre-destete temprano. Los CV fueron bajos para ITH (3.6 a 4.6 %), intermedios para temperatura (7.8 a 9.0 %) y relativamente altos para HR (>20 %). Entre los días 10 y 30 post-nacimiento, las medias de TR de las crías oscilaron entre

39.5 y 39.8 °C con CV < 1.4 %, mientras que las medias de temperaturas de superficie corporal se ubicaron en el rango de 24.3 (espacio intercostal al día 20) a 37.0 °C (espacio peri-anal al día 30). En general, los CV fueron <20 %, siendo más bajo para TR y más alto para temperatura del morro a través de los días de muestreo.

**Cuadro 3.** Estadísticos descriptivos de variables de crecimiento, medidas zoométricas y temperaturas corporales de las crías, así como de las variables climáticas registradas al día 10, 20 y 30 del periodo pre-destete (n=221).

	Día 10			Día 20			Día 30		
	Media	DE	CV(%)	Media	DE	CV(%)	Media	DE	CV(%)
<b>Variables de crecimiento</b>									
Peso vivo (kg)	5.70	1.40	24.56	7.74	2.26	29.28	10.02	3.07	30.63
GDP (kg)	0.17	0.08	47.06	0.18	0.09	50.00	0.22	0.13	59.09
<b>Medidas zoométricas</b>									
Largo del dorso(cm)	36.60	2.87	7.84	39.85	3.64	9.13	43.23	3.60	8.32
Altura a la cruz(cm)	41.08	2.46	5.99	43.85	3.31	7.55	46.70	3.14	6.72
<b>Climáticas</b>									
Temperatura (°C)	22.43	2.03	9.05	23.12	1.80	7.79	23.45	1.85	7.88
HR (%)	56.71	12.88	22.71	56.38	10.97	19.46	56.61	13.39	23.65
ITH (unidades)	68.96	3.19	4.63	69.83	2.60	3.72	70.25	2.56	3.64
<b>TR (°C)</b>	39.46	0.52	1.31	39.60	0.42	1.06	39.80	0.36	0.90
<b>Temperaturas de superficie corporal (°C)</b>									
Cabeza	27.64	3.64	13.17	28.66	3.28	11.44	30.08	3.38	11.23
Ojo	35.52	1.59	4.48	35.68	1.58	4.43	36.28	1.58	4.35
Morro	28.09	4.68	16.66	29.12	4.30	14.77	30.46	4.40	14.44
Cuerpo	25.21	3.63	14.40	25.07	3.55	14.16	25.93	3.72	14.34
Pierna	25.85	3.18	12.30	25.50	3.31	12.98	26.31	3.64	13.83
Vientre	25.86	3.34	12.92	26.00	3.27	12.58	27.01	3.67	13.58
Espacio intercostal	24.43	3.53	14.45	24.29	3.55	14.62	24.98	3.71	14.85
Peri-anal	36.34	2.25	6.19	36.59	1.28	3.50	37.01	1.37	3.70
Área trasera	30.38	2.82	9.28	30.82	2.61	8.47	31.66	3.15	9.94
RGP	25.65	2.85	11.11	25.34	2.68	10.58	26.15	3.45	13.19

GDP= ganancia diaria de peso, HR=Humedad relativa, TR= Temperatura recta, ITH= índice de temperatura-humedad, RGP = Temperatura de la región posterior de la pierna. DE= Desviación estándar, CV= Coeficiente de variación.



## 4.2. Correlación de Pearson

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de correlaciones de PD y GDP pre-destete con variables medidas en las crías y climáticas en el periodo pre-destete temprano (primeros 30 días). A excepción de la correlación entre GDP pre-destete y TR al día 10 ( $P > 0.05$ ), el PD y la GDP pre-destete se correlacionaron positivamente ( $P < 0.01$ ;  $0.15 \leq r \leq 0.79$ ) con todas las variables registradas en las crías en los primeros 30 días del periodo pre-destete. Así, el PD y la GDP pre-destete se correlacionaron estrechamente con el PN ( $r = 0.72$ ), así como con el PV ( $0.69 \leq r \leq 0.79$ ) pero en forma moderada con la GDP ( $0.39 \leq r \leq 0.64$ ) a los 10, 20 y 30 días post-nacimiento.

Por su parte, las medidas zoométricas mostraron correlacionarse mayormente en forma moderada ( $0.37 \leq r \leq 0.66$ ) con el PD y la GDP pre-destete durante el periodo pre-destete temprano, ya que la altura a la cruz al día 10 tuvo baja correlación ( $r = 0.29$ ) con la GDP pre-destete. Por su parte, las temperaturas corporales a los 10, 20 y 30 días post-nacimiento se correlacionaron en forma baja con el PD, mientras que, con GDP pre-destete, la mayoría de las temperaturas de superficie de las diferentes regiones corporales se correlacionaron en forma moderada ( $0.36 \leq r \leq 0.52$ ) y la TR en forma baja ( $0.18 \leq r \leq 0.32$ ) a través del periodo pre-destete temprano.

En el caso de las correlaciones con las variables climáticas, el PD mostró mayormente baja correlación ( $P < 0.01$ ;  $0.27 \leq r \leq 0.40$ ) con las temperaturas ambientales e ITH's, pero ninguna correlación ( $P > 0.05$ ) con la HR a los 10, 20 y 30 días. En general, la GDP pre-destete tuvo una correlación baja ( $P < 0.05$ ;  $r \leq 0.17$ ) con la HR y moderada ( $P < 0.01$ ;  $0.48 \leq r \leq 0.63$ ) con las temperaturas ambientales e ITH's a través del periodo pre-destete temprano.

**Cuadro 4.** Correlaciones de peso al destete y ganancia diaria de peso pre-destete de las crías con sus variables de crecimiento, medidas zoométricas y temperaturas corporales registradas a los días 10, 20 y 30 del periodo pre-destete (n=221), así como con variables climáticas medidas en los mismos tiempos.

Día pre-destete	Peso al destete			Ganancia diaria de peso pre-destete		
	10	20	30	10	20	30
<b>VARIABLES DE CRECIMIENTO</b>						
Peso vivo (kg)	0.72**	0.77**	0.79**	0.69**	0.74**	0.74**
Ganancia diaria de peso (kg)	0.42**	0.64**	0.50**	0.39**	0.58**	0.46**
<b>MEDIDAS ZOOMÉTRICAS</b>						
Largo del dorso (cm)	0.49**	0.58**	0.66**	0.43**	0.51**	0.57**
Altura a la cruz (cm)	0.37**	0.54**	0.61**	0.29**	0.51**	0.59**
<b>CLIMÁTICAS</b>						
Temperatura ambiente (°C)	0.40**	0.30**	0.27**	0.63**	0.51**	0.48**
Humedad relativa (%)	0.07	0.08	0.05	0.17*	0.15*	0.08
ITH (unidades)	0.36**	0.31**	0.29**	0.59**	0.52**	0.50**
<b>TEMPERATURAS (°C)</b>						
Rectal	0.18*	0.28**	0.25**	0.14	0.18**	0.32**
Cabeza	0.31**	0.26**	0.32**	0.47**	0.42**	0.49**
Ojo	0.15*	0.19**	0.25**	0.27**	0.31**	0.40**
Morro	0.19*	0.19**	0.15*	0.31**	0.30**	0.31**
Cuerpo	0.30**	0.25**	0.32**	0.48**	0.42**	0.51**
Pierna	0.27**	0.20**	0.27**	0.44**	0.37**	0.45**
Vientre	0.28**	0.23**	0.32**	0.46**	0.40**	0.52**
Espacio intercostal	0.29**	0.30**	0.30**	0.47**	0.47**	0.49**
Peri-anal	0.28**	0.23**	0.26**	0.36**	0.36**	0.39**
Área trasera	0.33**	0.28**	0.31**	0.48**	0.42**	0.47**
Región posterior de la pierna	0.22**	0.24**	0.26**	0.36**	0.39**	0.45**

\*P<0.05, \*\*P<0.001, sin asterisco indican correlación no significativa (P>0.05) entre variables.

### 4.3. Ecuaciones de predicción

En el Cuadro 5 se presentan las ecuaciones significativas ( $P < 0.01$ ) de regresión lineal múltiple desarrolladas para predecir PD y GDP pre-destete de las crías de ovinos de pelo en una etapa temprana del periodo pre-destete. Contrario a lo esperado, las mediciones realizadas al día 10, 20 y 30 post-nacimiento de GDP, TR, termografía, largo de cuerpo, altura a la cruz, temperatura ambiental y HR no ayudaron ( $P > 0.05$ ) a explicar la variación observada en el PD y GDP pre-destete, por lo cual no fueron consideradas como predictoras en los modelos finales desarrollados en cada uno de esos días. El PN y solamente el ITH promedio de los primeros 10 días post-nacimiento se consideraron en los modelos desarrollados para predecir crecimiento pre-destete al día 10 post-nacimiento. Así, el modelo desarrollado para PD en ese día consideró solamente al PN sin efecto ( $P > 0.05$ ) de sexo o genotipo, mientras que el modelo de GDP pre-destete tuvo como predictoras al PN,  $PV_{d10}$  e  $ITH_{d0-10}$ . Estos modelos explicaron 56.8 y 72.8 % de la variación observada en el PD y GDP pre-destete, respectivamente. Al día 20 y 30 post-nacimiento, los modelos desarrollados para PD y GDP pre-destete incluyeron solamente al PV registrado en cada tiempo como variable predictora, aunque los modelos de  $PD_{d20}$ ,  $PD_{d30}$  y  $GDP$  pre-destete $_{d30}$  fueron afectados por sexo ( $P < 0.05$ ) pero no por genotipo ( $P > 0.05$ ). Los modelos explicaron entre 65.1 y 68.7 % la variación del PD, y entre 57.7 y 59.4 % la variación de la GDP pre-destete.

Todos los modelos desarrollados se ajustaron eliminando los datos atípicos hasta que se garantizó la ausencia de falta de ajuste ( $P > 0.05$ ), sugiriendo el cumplimiento de la linealidad en todos los modelos realizados con información de los 10, 20 y 30 días post-nacimiento. Sin embargo, el supuesto de independencia de los errores no se cumplió para todos los modelos, particularmente en las ecuaciones desarrolladas para GDP pre-destete en los días 20 y 30 post-nacimiento, ya que el valor del estimador de DW se ubicó por debajo ( $DW = 1.0$ ) del rango esperado (1.5 a 2.5). Después de ajustar los modelos, los valores de  $R^2_{adj}$  fueron muy similares con respecto a los valores de  $R^2$  originales. Así, los modelos ajustados para GDP pre-destete al día 10, 20 y 30 post-nacimientos explicaron la variación de esta variable dependiente en un 72.8, 57.5 y 59.0 %, respectivamente, mientras que en esos

mismos tiempos los modelos ajustados para PD explicaron 56.5, 64.8 y 68.4 %, respectivamente, de la variación en dicha variable dependiente.

La mejor ecuación para predecir el PD fue la desarrollada con datos del día 30 post-nacimiento, ya que fue la que explicó una mayor variación del PD ( $R^2_{adj}= 68.7$  %) y no incumple los supuestos de linealidad ( $P = 0.52$ ), independencia de errores ( $DW= 1.61$ ) y ausencia de colinealidad ( $TOL= 0.99$  y  $VIF= 1.0$ ; rangos normales para  $TOL=0.4$  a  $1.0$  y  $VIF < 10$ ), asimismo presenta menos variabilidad como tuvo los valores más bajo para RMSE (3.03 kg) y CV (12 %; Cuadro 6 y 7). Esta ecuación consideró solamente al  $PV_{d30}$  como predictora y es afectada ( $P < 0.05$ ) por el sexo como factor binomial pero no ( $P > 0.05$ ) por el genotipo, marcando una diferencia en el PD inicial de 1.17 kg a favor de los machos. Por lo tanto, las ecuaciones para PD en machos y hembras quedaron de la siguiente manera:  $PD_{machos}= 9.93 + 1.58 PV_{d30}$  y  $PD_{hembras}= 8.76 + 1.58 PV_{d30}$ .

En el caso de GDP pre-destete, la mejor ecuación fue la desarrollada con información de los primeros 10 días post-nacimiento, dado que tuvo los mejores parámetros (mayor  $R^2_{adj}= 72.1$  % y más bajos valores de  $RMSE= 0.03$  y  $CV= 13.7$  %) y no violó los supuestos de linealidad ( $P = 0.52$ ), independencia de residuales ( $DW= 1.72$ ) y ausencia de colinealidad ( $TOL= 0.30$  a  $0.77$  y  $VIF= 1.28$  y  $3.25$ ; Cuadro 6 y 7). Esta ecuación consideró como predictoras al PN,  $PV_{d10}$  e  $ITH_{d1-10}$ , y fue afectada por el factor binomial genotipo, pero no por sexo; las crías del genotipo Dorper x Katahdin mostraron alrededor de 20 g más de GDP pre-destete de entrada que los Katahdin puros. Por lo tanto, las siguientes ecuaciones puede usarse indistintamente para corderos o corderas:  $GDP_{KTN}= -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$  y  $GDP_{CDR}= -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$ .

**Cuadro 5.** Ecuaciones de regresión lineal múltiple desarrolladas para predecir el peso al destete y la ganancia diaria de peso de corderas y corderos del genotipo Katahdin puro y cruzado con Dorper, en una etapa temprana del periodo pre-destete (día 10, 20 y 30 post-nacimiento).

Ecuaciones por periodo	n	$\delta_0$	$\delta_1$	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (%)	RMSE	CV (%)	DW	FA (P)	P
<b>Día 10 post-nacimiento</b>										
PD = 6.90 + 4.41 PN	219	0.18 <sup>NS</sup> (H)	0.37 <sup>NS</sup> (CDR)	56.78	56.49	3.36	13.68	1.60	0.30	<0.01
GDP = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV <sub>d10</sub> + 0.01 ITH <sub>d1-10</sub>	219	0.002 <sup>NS</sup> (H)	0.02 <sup>**</sup> (CDR)	72.83	72.09	0.03	13.63	1.72	0.64	<0.01
<b>Día 20 post-nacimiento</b>										
PD = 10.12 + 2.05 PV <sub>d20</sub>	212	-1.41 <sup>**</sup> (H)	0.35 <sup>NS</sup> (CDR)	65.12	64.79	3.11	12.40	1.60	0.89	<0.01
GDP = 0.08 + 0.02 PV <sub>d20</sub>	214	-0.011 <sup>NS</sup> (H)	0.002 <sup>NS</sup> (CDR)	57.71	57.52	0.05	17.65	1.06	0.84	<0.01
<b>Día 30 post-nacimiento</b>										
PD = 9.93 + 1.58 PV <sub>d30</sub>	215	-1.17 <sup>**</sup> (H)	0.03 <sup>NS</sup> (CDR)	68.68	68.38	3.03	12.02	1.61	0.52	<0.01
GDP = 0.09 + 0.02 PV <sub>d30</sub>	219	-0.014 <sup>*</sup> (H)	0.005 <sup>NS</sup> (CDR)	59.42	59.05	0.05	17.24	1.04	0.69	<0.01

PD= Peso al destete, GDP= Ganancia diaria de peso pre-destete, PN= Peso al nacimiento, PV= Peso vivo, ITH= Índice de temperatura-humedad,  $\delta_0$  = Cambio en la constante ( $\beta_0$ ) para la predicción de PD y GDP pre-destete en hembras (H),  $\delta_1$ = Cambio en la constante ( $\beta_0$ ) para la predicción de PD y GDP pre-destete en genotipo Dorper x Katahdin (CDR), R<sup>2</sup>= Coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>adj</sub>= Coeficiente de determinación ajustada, RMSE= Raíz cuadrada media del error, CV= Coeficiente de variación, FA= Falta de ajuste, DW = Durbin Watson. \*P<0.05, \*\*P<0.01 y NS= no significativo.

**Cuadro 6.** Ecuaciones finales ajustadas para predecir el peso al destete y la ganancia diaria de peso de corderas y corderos del genotipo Katahdin puro y cruzado con Dorper, en una etapa temprana del periodo pre-destete.

<b>Ecuaciones finales</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>adj</sub> (%)</b>	<b>RMSE</b>	<b>CV (%)</b>	<b>FA (P)</b>	<b>DW</b>	<b>P</b>
<b>Peso al destete</b>								
Machos= 9.93 + 1.58 (PV <sub>d30</sub> )	215	68.68	68.38	3.03	12.02	0.52	1.61	<0.0001
Hembras= 8.76 + 1.58 (PV <sub>d30</sub> )								
<b>Ganancia diaria de peso pre-destete</b>								
KTN= -0.66 + 0.02 (PN) + 0.01 (PV <sub>d10</sub> ) + 0.01 (ITH <sub>d1-10</sub> )	219	72.83	72.09	0.03	13.68	0.64	1.72	<0.0001
CDR= -0.64 + 0.02 (PN) + 0.01 (PV <sub>d10</sub> ) + 0.01(ITH <sub>d1-10</sub> )								

PV<sub>d30</sub>= Peso vivo registrado al día 30 pos-nacimiento, PN = Peso al nacimiento, PV<sub>d10</sub>= Peso vivo registrado al día 10 pos-nacimiento, CDR= Genotipo Dorper x Katahdin, KTN= Genotipo Katahdin, ITH<sub>d1-10</sub>= índice de temperatura-humedad, R<sup>2</sup>= Coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>adj</sub>= Coeficiente de determinación ajustada, RMSE= Raíz cuadrada media del error, CV= Coeficiente de variación, FA= Falta de ajuste, DW = Durbin Watson.

**Cuadro 7.** Inflación de la varianza y tolerancia de las variables independientes que integran los modelos de regresión finales seleccionados para predecir el peso al destete y la ganancia diaria de peso pre-destete en las crías de ovinos de pelo.

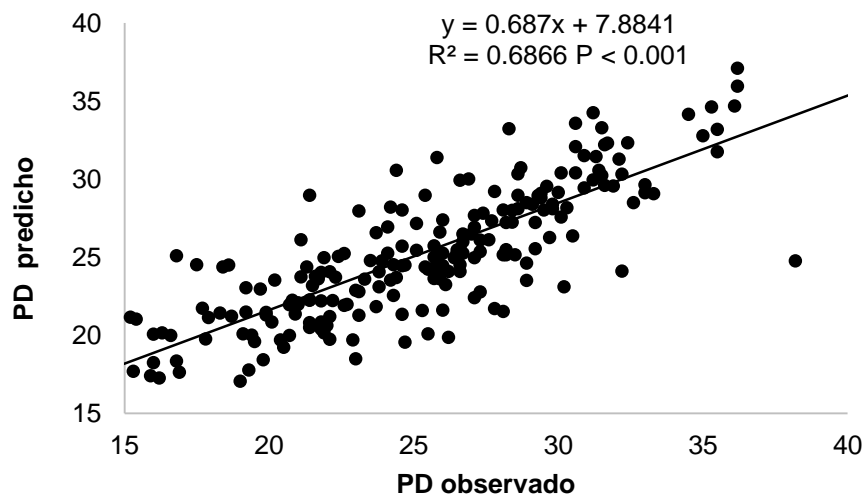
Predictoras	Estimador	EE	Tolerancia	Inflación de la varianza	P
<b>Peso al destete</b>					
Intercepto	9.93	0.78	-	0	<0.0001
PV <sub>d30</sub>	1.58	0.07	0.99	1.00	<0.0001
H	-1.17	0.41	0.99	1.00	0.0055
<b>Ganancia diaria de peso pre-destete</b>					
Intercepto	-0.66	0.077	-	0	<0.0001
PN	0.02	0.006	0.30	3.25	0.0002
PV <sub>d10</sub>	0.01	0.003	0.33	3.02	<0.0001
ITH <sub>d1-10</sub>	0.01	0.001	0.68	1.44	<0.0001
CDR	0.02	0.007	0.77	1.28	0.0027

PV<sub>d30</sub>= Peso vivo registrado al día 30 post-nacimiento, H= Hembra, PN= Peso al nacimiento, PV<sub>d10</sub>= Peso vivo registrado al día 10 post-nacimiento, ITH<sub>d1-10</sub>= índice de temperatura-humedad, CDR= Genotipo Dorper x Katahdin.

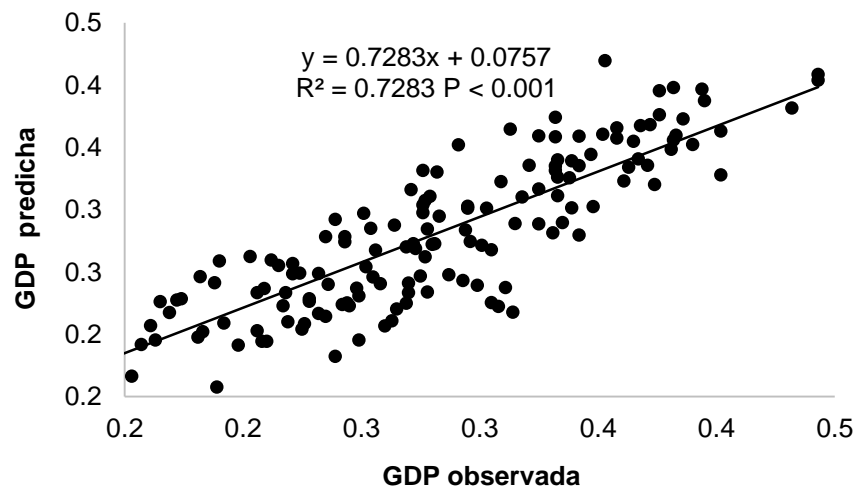
#### 4.4. Validación de las ecuaciones

Los resultados de precisión y validación de las mejores ecuaciones seleccionadas para PD y GDP pre-destete se presentan en las Figuras del 2 al 5. Para las ecuaciones finales de PD (Figura 2) y GDP pre-destete (Figura 3), los valores observados y predichos coincidieron ( $P < 0.01$ ;  $R^2$  para PD= 68.6 y  $R^2$  para GDP 72.8 %) y se distribuyeron alrededor de la línea de la regresión, confirmando el supuesto de linealidad. Por su parte, el análisis de residuales conducido tanto para la ecuación final de PD (Figura 4) y GDP pre-destete (Figura 5) muestra que los residuales entre valores predichos y observados se distribuyen alrededor de 0 ( $R^2= 0$ ), y dichos residuales no se relacionan con los valores predichos de PD ( $\beta_1= 0$ ), similarmente sucede con los valores predichos de GDP ( $\beta_1= 0$ ). Los gráficos de dispersión entre valores residuales

estudentizados *versus* PD o GDP predicha muestran que los residuales estudentizados se distribuyeron alrededor de 0 en rango considerado normal (-2.5 a 2.5). Por lo tanto, las ecuaciones finales seleccionadas pueden predecir con precisión y exactitud adecuada tanto PD y GDP pre-destete, aunque las ecuaciones de GDP pre-destete tiene ligeramente mejor precisión para predecir esta variable en crías de pre-destete de ovinos de pelo.

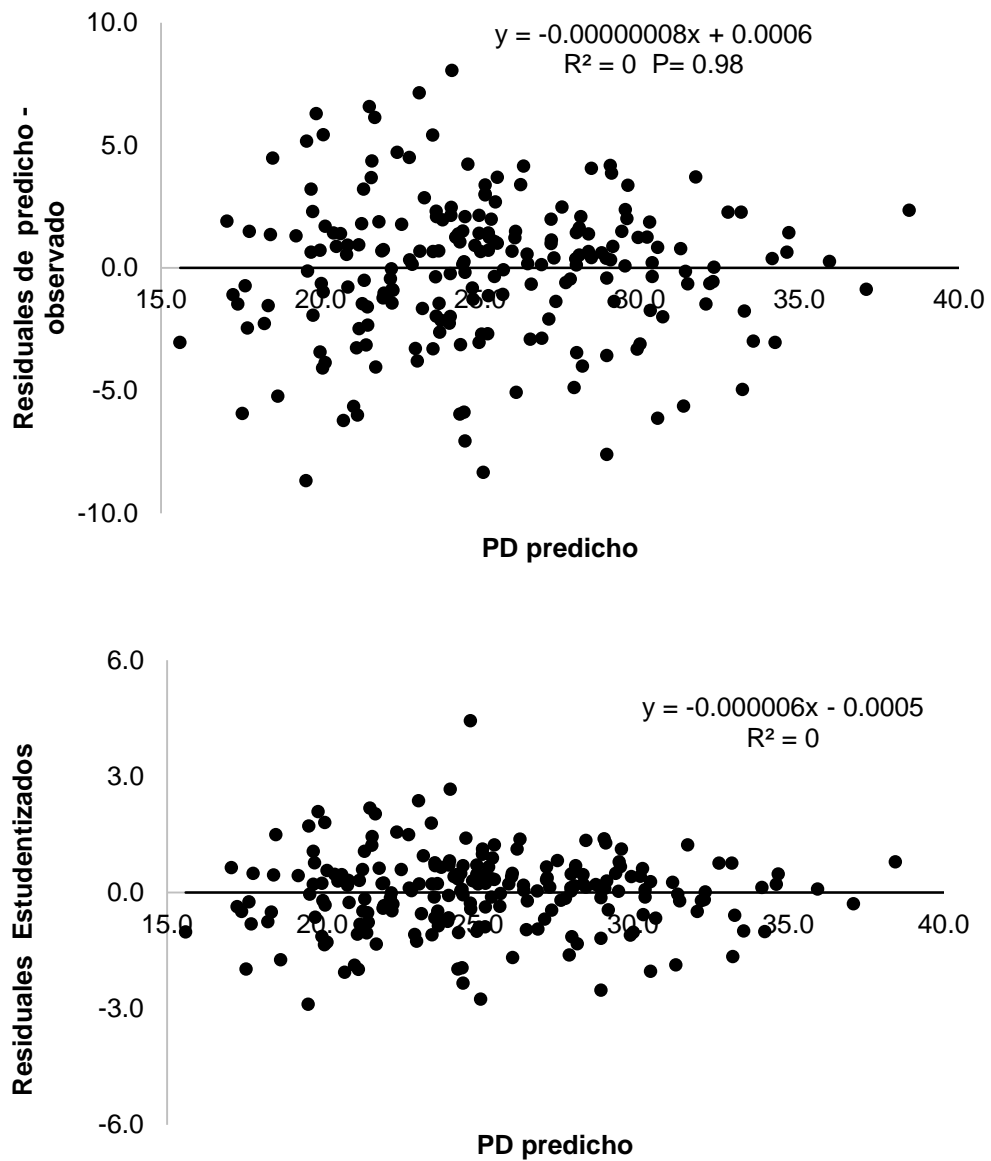


**Figura 2.** Relación entre el peso al destete (PD) predicho y observado usando el modelo final seleccionado del día 30 post-nacimiento.

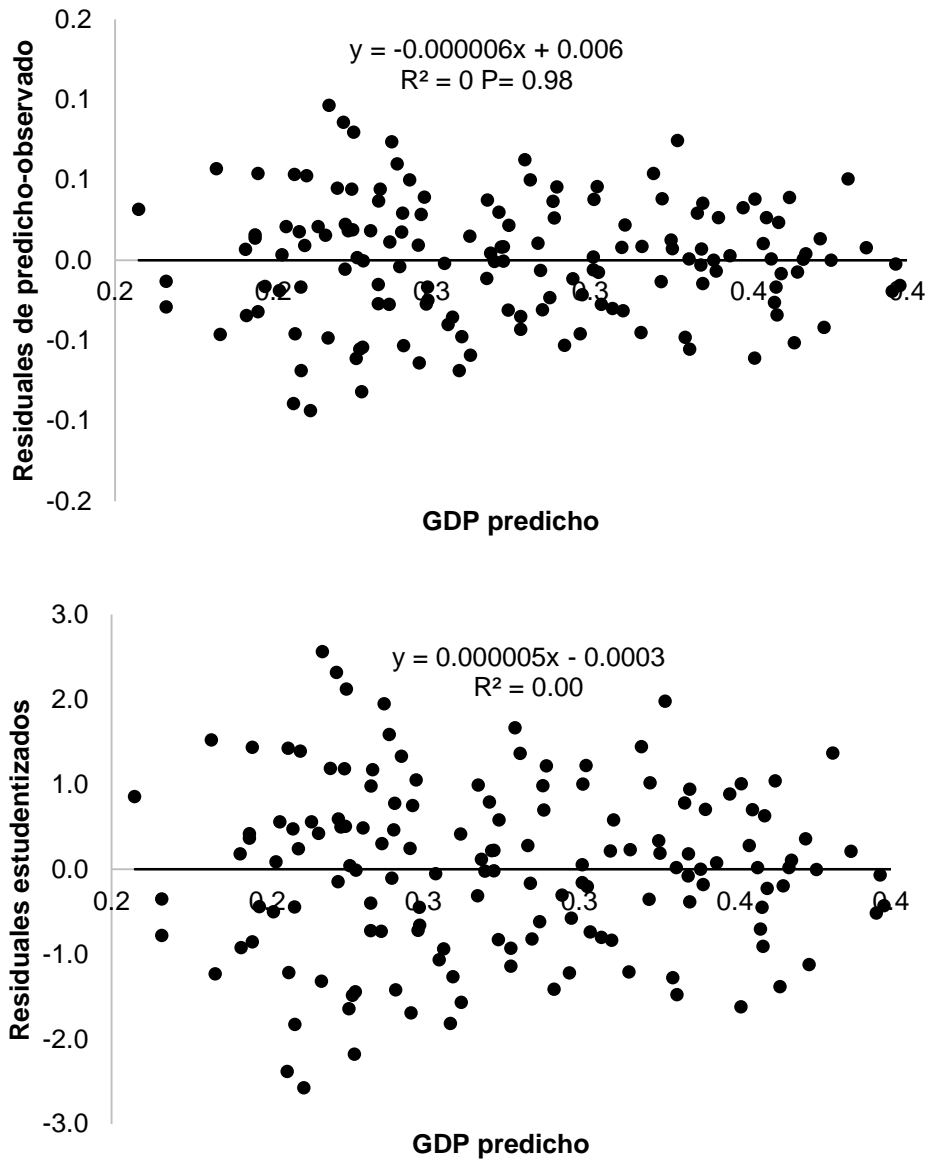


**Figura 3.** Relación entre ganancia diaria de peso pre-destete (GDP) predicha y observadas usando el modelo final seleccionado del día 10 post-nacimiento.





**Figura 4.** Relación entre el peso al destete (PD) predicho y los residuales (residual y residuales estudentizados) usando el modelo final seleccionado del día 30 post-nacimiento.



**Figura 5.** Relación entre la ganancia diaria de peso pre-destete (GDP) predicha y los residuales (residual y residuales estudentizados) usando el modelo final seleccionado del día 10 post-nacimiento.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Estadísticos descriptivos

Las razas ovinas Katahdin y Dorper fueron introducidas al país en la década de los 90's como líneas paternas para mejorar el PN y la tasa de crecimiento pre- y post-destete de las razas nativas de pelo, principalmente en regiones tropicales (Chay-Canul et al., 2019; Macías-Cruz et al., 2010). Las crías de raza Katahdin presentan rangos en sus PN, GDP pre-destete y PD de 2.25 a 5.2 kg, 140 a 200 g/d y 15.3 a 22.5 kg, respectivamente (Burgos-González et al., 2018; Burke et al., 2003; Hinojosa-Cuellar et al., 2009; López-Carlos et al., 2010, 2021); pero al ser cruza con Dorper mejoran significativamente estos parámetros de crecimiento, observándose PN que varían de 3.2 a 4.5 kg y PD de 26.6 a 34.3 kg a una edad de 90 días, por lo cual la tasa de crecimiento pre-destete con la crusa puede llegar a ser superior a los 300 g/d (Vicente-Pérez et al., 2021). En este estudio, las crías mostraron PN y PD de 4.2 y 25.2 kg, con GDP pre-destete de 290 g/d, independientemente del genotipo (Katahdin o Dorper x Katahdin), mostrando que los resultados de las variables de crecimiento pre-destete se encuentran dentro de los rangos de promedios reportados.

En el periodo pre-destete temprano (primeros 30 días post-nacimiento), el crecimiento de las crías generalmente es ligeramente menor en las primeras semanas de vida y posteriormente se observan mayores GDP, reflejándose en un aumento constante en el peso vivo y desarrollo corporal (López-Carlos et al., 2010; Mellado et al., 2016). En las crías usadas en este estudio se observó misma tendencia de crecimiento (GDP, largo del dorso y altura a la cruz) a la descrita previamente, ya que presentaron GDP en los primeros 20 días post-nacimiento de 175 g/d y mejoró en un 25 % al día 30 con respecto a lo observado en las primeras semanas. Por su parte, las mediciones zoométricas de largo y alto corporal mostraron incrementos muy similares cada 10 días hasta los 30 días post-nacimiento, coincidiendo con lo reportado en la literatura respecto al crecimiento esperado en las crías de los genotipos utilizados (Burgos-González et al., 2018; Macías-Cruz et al., 2010; Mellado et al., 2016; Ordoñez-Gomez, 2018). Interesantemente, las GDP mostraron una variabilidad alta superando el 50% mientras que en las medidas zoométricas fue muy baja (CV <10%), durante los

primeros 30 días post-nacimiento. Esto podría estar asociado con factores genéticos, ambientales (Nasrat et al., 2016), y particularmente con la forma como se da el crecimiento diferenciado de masa ósea, músculo y tejido graso en el periodo predestete temprano. En las primeras semanas de vida, el crecimiento de la estructura ósea es mayor que la de tejido muscular o graso, y es menos dependiente de la disponibilidad de energía y proteína; en consecuencia, se espera que, en este periodo, el desarrollo esquelético sea continuo mientras que la deposición de músculo y grasa dependerá de la disponibilidad de nutrientes (Kunene et al., 2009). Esto explica la gran diferencia que hay en los coeficientes de variación de la GDP y las medidas zoométricas.

En ovinos de pelo, la zona de confort térmico se encuentra entre los 15 y 30°C, y a un ITH <78 unidades es considerado como ausencia de estrés por calor (Macías-Cruz et al., 2018; Vicente-Pérez et al., 2020). En este estudio, las crías durante los primeros 30 días post-nacimiento se encontraban en confort térmico, debido a que la temperatura ambiental osciló entre 22.4 y 23.4 °C, la HR de 56.4 a 56.7 % y el ITH de 69.0 a 70.2 unidades. En general, la temperatura ambiental y el ITH fue muy estable durante el estudio (CV<9.1 %), de tal manera que este ambiente óptimo de producción se reflejó en una TR estable dentro del rango normal para ovinos (38.3 - 39.9 °C; Marai et al., 2007). Interesantemente, se observa que los valores promedio de la TR fueron aumentando ligeramente como avanzaron los primeros 30 días de edad (39.5 a 39.8 °C), y dado que las condiciones climáticas fueron estables, este incremento en la temperatura interna puede deberse a un aumento en el metabolismo por acción del crecimiento (Flinn et al., 2020).

Las temperaturas de la superficie corporal dependen de las condiciones ambientales y la producción de calor endógeno en los animales (Vicente-Pérez et al., 2019). Además, se puede presentar una alta variabilidad en las temperaturas de las diferentes regiones de la superficie corporal debido a diferencias en la vascularización de los tejidos periféricos (Sahni, 2017). Bajo condiciones termoneutrales (ITH= 59 a 61 unidades), se ha reportado que las temperaturas de superficie corporal de ovinos de pelo varían entre 24.3 y 36.3 °C, pero en estrés por calor se ubican en el rango de 34.0 a 38.4 °C (Seixas et al., 2017). Un estudio reciente hecho en crías ovinas neonatales de

la cruce Dorper x Katahdín bajo condiciones ambientales altamente variables (temperatura ambiental= 10 y 34°C, e ITH= 51.0 a 78.9 unidades), registraron temperaturas de la superficie corporal que variaron de 24.4 a 32.7°C (Vicente-Pérez et al., 2019). En este estudio, las temperaturas de superficie corporal se presentaron en el rango de 24.3 a 37.0 °C, con CV < 20%. Por lo tanto, los valores medios de estas temperaturas corporales están dentro de los valores esperados de acuerdo a la literatura.

## **5.2. Correlación de Pearson**

El PD y la GDP pre-destete de las crías ovinas mostraron una estrecha asociación con sus cambios de PV, y solamente moderada con sus GDP, que presentaron durante el primer mes de vida. Esto coincide parcialmente con resultados de estudios previos donde usaron también ovinos de raza de pelo; mientras que Lôbo et al. (2009) encontraron que el PN se relacionó en forma alta y baja con el PD y GDP, respectivamente, Sarmiento et al. (2006) reportaron asociaciones altas ( $r=0.74$ ) entre el PD y PV a los 28 días de edad. En general, las asociaciones positivas entre variables de crecimiento temprano y las variables medidas al destete demuestran que el peso que alcanzan al destete las crías depende directamente de su PN y los cambios que presente en su PV durante las primeras semanas de vida (López-Carlos et al., 2010). En consecuencia, el registro de los PV de las crías en el periodo post-parto podría ser usado para el desarrollo de modelos de predicción del potencial de crecimiento al destete.

Por otra parte, este es el primer estudio que, en ovinos de cualquier genotipo, establece la relación del crecimiento al destete de las crías con sus mediciones zoométricas y temperaturas corporales registradas en las primeras semanas post-parto, así como con las condiciones ambientales en que creció en dicho periodo. Los resultados muestran que tanto PD y GDP pre-destete están asociados positivamente con estas variables medidas en la etapa temprana del periodo pre-destete, aunque dichas relaciones son de moderadas a bajas ( $0.18 \leq r \leq 0.66$ ) con PD y en general moderadas con GDP pre-destete. Esto sugiere que un mejor PD y GDP pre-destete en

las crías de ovinos de pelo se observa cuando entre el día 10 y 30 post-parto presentan un cuerpo más largo y alto bajo condiciones climáticas más cálidas sin superar el límite superior de la zona termoneutral. Adicionalmente, una mayor temperatura de superficie corporal en esta etapa temprana del crecimiento pre-destete parece ser un indicativo adecuado de una mejor GDP pre-destete, mientras se debe tomar con precaución al relacionarlo con un mejor PD como la mayoría de las correlaciones fueron bajas con todas las temperaturas corporales.

El largo del dorso y altura a la cruz son indicativo del crecimiento de los huesos, particularmente de las vértebras y las extremidades anteriores (Silva et al., 2017). Si bien, los huesos grandes en los animales se asocian con una mayor disponibilidad de espacio para depositar tejido muscular y grasa, no necesariamente garantiza que éste se forme si la disponibilidad de nutrientes y la genética de crecimiento no es la adecuada (Araujo Filho et al., 2007; Rocha et al., 2003). Adicionalmente, las condiciones climáticas juegan un papel importante en la expresión genética del potencial de crecimiento al destete, al mismo tiempo que definen parcialmente la eficiencia energética para crecimiento en las crías (Labeur et al., 2017; López et al., 2015; Martello et al., 2004; Seixas et al., 2017). Esto explica porque las correlaciones fueron solamente moderadas entre las variables de crecimiento al destete y largo y alto del cuerpo, así como con la temperatura e ITH ambiental registrada durante el crecimiento temprano de las crías de pelo. Por otra parte, la termografía de la superficie corporal se ha relacionado con el metabolismo energético de crecimiento en rumiantes; mientras que en bovinos se correlaciona negativamente con la eficiencia alimenticia (Montanholi et al. 2009) y la GDP (Leao et al., 2018) en la etapa de engorda, en ovinos de pre-destete se ha encontrado una relación positiva pero baja con la GDP y PD (Paim et al., 2014). Estos resultados de ovinos coinciden con lo encontrado en este estudio para PD y solamente parcialmente en lo referente a GDP pre-destete cuando se obtuvieron las correlaciones con variables de termografía de superficie corporal. Por lo tanto, las mediciones de crecimiento en las crías y de condiciones climáticas durante el periodo pre-destete temprano podrían usarse como predictoras del potencial de crecimiento al destete en ovinos de pelo criados bajo un clima templado, tal como el que se registró en el lugar de estudio.

### 5.3. Ecuaciones de predicción

La hipótesis planteada en este estudio fue que el potencial de crecimiento al destete puede ser predicho a una edad temprana pre-destete usando como predictoras a variables de crecimiento, temperatura corporal y climáticas registradas en los primeros 30 días post-nacimiento. En este sentido, se obtuvieron ecuaciones para predecir PD y GDP pre-destete de las crías de raza de pelo ya sea a los 10, 20 o 30 días del periodo pre-destete. Las variables de largo y alto del cuerpo, termografía corporal y condiciones climáticas no fueron seleccionadas por ninguno de los modelos a los diferentes tiempos del periodo temprano pre-destete, sugiriendo que dichas variables independientes explicaban poco de la variación observada en el PD y GDP pre-destete, o bien tenían colinealidad con el PV (Feng-Jenq, 2008). Por el contrario, el PV al nacimiento o a los 10, 20 o 30 días post-nacimiento mostró ser una buena variable predictora como explicó la mayoría de la variación observada (57 a 69 %) en las variables asociadas con el potencial de crecimiento al destete. La cantidad de variación explicada por PV ya era esperada considerando la estrecha correlación ( $0.69 \leq r \leq 0.79$ ) detectada de esta variable con el PD y la GDP pre-destete. En el caso del modelo desarrollado para GDP pre-destete con datos del día 10 post-nacimiento, se observó que, además del  $PV_{d10}$ , el PN y el ITH promedio registrado en los primeros 10 post-nacimiento fueron variables independientes que contribuyeron a explicar la variación de la variable dependiente.

El modelo que mejor explica la variación de la GDP pre-destete fue el desarrollado al día 10 post-nacimiento ( $R^2= 72.8 \%$ ), mientras que el mejor modelo construido para PD es que incluye el PV registrado a los 30 días post-nacimiento ( $R^2= 68.7 \%$ ). Dado que estos modelos explicaron la mayor variación del PD ( $R^2_{adj}= 68.4 \%$ ) y la GDP pre-destete ( $R^2_{adj}= 72.1 \%$ ) al mismo tiempo que mostraron la menor variabilidad (RSME= 0.03 [PD] y 3.0 [GDP] kg, y CV= 13.6 y 12.0 [GDP] %) y ausencia de falta de ajuste ( $FA \geq 0.52$ ), se seleccionaron para su validación como ecuaciones de predicción del potencial de crecimiento al destete. Basado en los indicadores de DW, TOL y VIF, así como en la interpretación de los gráficos de valores observados *versus* predichos y de residuales, se determinó que ambas ecuaciones cumplían con los supuestos de la regresión: normalidad, linealidad, homocedasticidad e independencia

(Tusell, 2011).

Por lo tanto, los resultados en general de las ecuaciones sugieren que el potencial de crecimiento al destete de las crías de raza de pelo sí se puede predecir a una edad temprana, particularmente la GDP pre-destete desde los 10 días de edad y el PD hasta los 30 días de edad. Considerando que alrededor del 69 % de los valores predichos coincidieron con los valores observados de PD y para GDP pre-destete la coincidencia fue ligeramente mayor (73 %), se puede deducir que ambas ecuaciones tienen adecuada precisión para predecir. Cabe mencionar que la ecuación desarrollada para GDP pre-destete es influenciada por el genotipo, mientras que la ecuación de PD por el sexo. Así, cuando se use la ecuación de GDP pre-destete se debe considerar de inicio 20 g/d más de GDP a favor de las cruzas de Dorper x Katahdín comparado con cría Katahdín puro. En el caso de la ecuación de PD, se tiene que tomar en cuenta 1.17 kg menos de peso para hembras comparado con los machos. El efecto de genotipo en la ecuación puede deberse al efecto de heterosis reflejado en las crías por el cruzamiento de la raza Dorper con Katahdín (Hinojosa-Cuellar et al., 2009; Hinojosa-Cuellar et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2012). Por su parte, el efecto de sexo se puede deber a que los machos al presentar el gen SRY aumentan la producción de testosterona obteniendo un mayor incremento del PV y tasa de crecimiento en el periodo pre-destete comparado con las hembras (Hinojosa-Cuellar et al., 2018). En consecuencia, las ecuaciones finales son las siguientes:

$$GDP_{KTN} = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$$

$$GDP_{CDR} = -0.66 + 0.02 PN + 0.01 PV_{d10} + ITH_{d1-10}$$

$$PD_{machos} = 9.93 + 1.58 PV_{d30}$$

$$PD_{hembras} = 8.76 + 1.58 PV_{d30}$$

En la literatura no se encontraron ecuaciones de regresión que puedan predecir el potencial de crecimiento a una edad temprana de crías ovinas de pelo o cualquier otro genotipo. Por consiguiente, este estudio podría ser el primero en predecir el potencial de crecimiento, sin embargo, se debe de continuar explorando el uso de ecuaciones de predicción en la producción animal. En tanto las ecuaciones de regresión obtenidas en este estudio deben de ser utilizadas con precaución y preferentemente para machos y hembras de razas Katahdin y cruce con Dorper.



## VI. CONCLUSIONES

El potencial de crecimiento de las crías de ovinos de pelo se puede predecir en las primeras semanas post-nacimiento usando como variables predictoras el PV, y en el caso particular de la GDP pre-destete también el  $ITH_{d1-10}$ . Así, el potencial de crecimiento de las crías basado en la GDP pre-destete, podría predecirse desde los 10 días post-nacimiento con buena precisión, pero si es de mayor interés conocer el PD entonces habría que esperar hasta el día 30 post-nacimiento para garantizar una mejor exactitud en la predicción de esta variable de crecimiento. Debe tomarse en cuenta que la ecuación de la GDP pre-destete está ajustada por el efecto del genotipo (cruzas de Dorper 20 g extra), mientras que la ecuación del PD por el efecto de sexo (macho 1.17 kg extra). Contrario a lo esperado, la termografía de superficie en las diferentes regiones corporales y las dimensiones del cuerpo no son variables que ayuden a predecir el potencial de crecimiento de las crías de raza de pelo, al menos bajo condiciones climáticas templadas. Finalmente, la aplicación de estas ecuaciones a nivel de campo será de gran ayuda para identificar crías de ovino de pelo con problemas de crecimiento a una edad temprana, y, por consiguiente, su uso ofrece un margen de tiempo suficiente para establecer estrategias de manejo en beneficio del incremento de los pesos al destete.

## VII. LITERATURA CITADA

- Al-Dawood A. (2017). Towards heat stress management in small ruminants- a review. *Ann Animal Science*, 17, 59-88.
- Afolayan, R. A., Gilmour, A. R., & Fogarty, N. (2006). Selección indexes for crossbred ewe reproduction and productivity. *Proceeding of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, 17, 491–494.
- Aggarwal, A., and R. Upadhyay. (2013). Heat stress and milk production. In: Heat Stress and Productivity. Springer India. New Delhi Heidelberg, N.Y., Dordrecht London, 53-72.
- Aguilar-Martinez, C. U., Berruecos-Villalobos, J. M., Espinoza-Gutiérrez, B., Segura-Correa, J. C., Valencia-Méndez, J., & Roldán-Roldán, A. (2017). Origen, historia y situación actual de la oveja Pelibuey en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 429–439.
- Ames, D. R., & Brink, D. R. (1977). Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. *Journal of Animal Science*, 44, 136–140. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/44/1/136/4697401>
- Araújo Filho, J. T., Costa, R. G., Fraga, A. B., Sousa, W. H., Gonzaga Neto, S., Batista, A. S. M., & Cunha, M. G. das G. (2007). Efeito de dieta e genótipo sobre medidas morfométricas e não constituintes da carcaça de cordeiros deslanados terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 8(4), 394–404.
- Araújo, A. A. de O., Farias, L. A., Biagiotti, D., & Ferreira, G. J. B. de C. (2014). Pelvimetria de suínos das linhagens Agrocerec e DanBred. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 21(4), 262–267. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2015.307>
- Arredondo-Ruiz, V., Macedo-Barragán, R., Molina-Cárdenas, J., Magaña-Álvarez, J., Prado-Rebolledo, O., García-Márquez, L. J., Herrera-Corredor, A., & Lee-Rangel, H. (2013). Morphological characterization of Pelibuey sheep in Colima, México. *Tropical Animal Health and Production*, 45(4), 895–900. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0303-1>
- Arroyo, J. (2011). Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 829–845.

- Avendaño-Reyes, L., Alvarez, F. D., Salomé, J., Correa, A., Molina, L., & Cisneros, F. J. (2004). Evaluación de algunos rasgos productivos del borrego Pelibuey en el noroeste de México. Resultados preliminares. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola (Cuba)*, 38(2), 131–136.
- Bautista-Díaz, E., Mezo-Solis, J. A., Herrera-Camacho, J., Cruz-Hernández, A., Gomez-Vazquez, A., Tedeschi, L. O., Lee-Rangel, H. A., Vargas-Bello-Pérez, E., & Chay-Canul, A. J. (2020). Prediction of carcass traits of hair sheep lambs using body measurements. *Animals*, 10(8), 1276. <https://doi.org/10.3390/ani10081276>
- Basarab, J. A., Price, M. A., Aalhus, J. L., Okine, E. K., Snelling, W. M., & Lyle, K. L. (2003). Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(2), 189–204. <https://doi.org/10.4141/A02-065>
- Bermejo, L. A., Mellado, M., Camacho, A., Mata, J., Arévalo, J. R., & Nascimento, L. (2010). Factors influencing birth and weaning weight in Canarian hair lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 37, 273–275. <https://doi.org/10.1080/09712119.2010.9707140>
- Bernardi, J. R. de A., Alves, J. B., & Marin, C. M. (2005). Desempenho de cordeiros sob quatro sistemas de produção. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(4), 1248–1255. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000400021>
- Bhatt, R. S., Tripathi, M. K., Verma, D. L., & Karim, S. A. (2009). Effect of different feeding regimes on pre-weaning growth rumen fermentation and its influence on post-weaning performance of lambs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93(5), 568–576. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00845.x>
- Bianca, W. (1974). Animal response to meteorological stress as a function of age. *Progress in Biometeorology*, 1, 273–284
- Burgos-González, C., Huerta-Aparicio, M., Aguirre, V., Vázquez, R., Orihuela, A., & Pedernera, M. (2017). Short communication: milk production and lamb development in Saint Croix and Katahdin hair sheep breeds (*Ovis aries*). *Tropical Animal Health and Production*, 50(3), 683–687. <https://doi.org/10.1007/S11250-017-1448-8>
- Burke, J.M., Apple, J.K., Roberts, W.J., Boger, C.B., & Kegley, E.B. (2003). Effect of breed-type on performance and carcass traits of intensively managed hair

sheep. *Meat Science*, 63, 309–315.

Boulant, J. A. (2000). Role of the preoptic-anterior hypothalamus in thermoregulation and fever. *Clinical infection diseases*, 31 (Supplement\_5), S157-S161.

Bravo, S., & Sepúlveda, N. (2010). Índices Zoométricos en Ovejas Criollas Araucanas. *International Journal of Morphology*, 28(2), 489–495. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000200025>

Cadenas-Cruz, P., Oliva-Hernández, J., & Hinojosa-Cuellar, J. (2012). Productivity of Blackbelly ewes and their hybrid litter under grazing. *Journal Animal Veterinary Adv.*, 11(1), 97–102. <https://doi.org/10.3923/javaa.2012.97.102>

Cambellas, J. B. De. (1993). Reproductive performance in tropical sheep. *Revista Científica*, 111.

Chay-canul, A. J. (2019). Desarrollo y evaluación de ecuaciones para predecir el peso corporal de ovejas Pelibuey mediante la circunferencia torácica. *Revista Mexicana Ciencencias Peruanas*, 10, 767–777.

Chay-Canul, A. J., Parra-Bracamonte, G. M., Lopez-Villalobos, N., Herrera-Ojeda, J. B., Magaña-Monforte, J. G., Peniche-González, I. N., Herrera-Camacho, J., & García-Herrera, R. (2020). Milk yield and composition of Katahdin and Pelibuey ewes in tropical conditions. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 29(4), 352–357. <https://doi.org/10.22358/JAFS/129966/2020>

Chay-Canul, Alfonso J., Garcia-Herrera, R. A., Magaña-Monforte, J. G., Macías-Cruz, U., & Luna-Palomera, C. L. (2019). Productividad de ovejas Pelibuey y Katahdin en el trópico húmedo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 159. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1872>

Chay-Canul, A. J., Ptáček, M., Macías-Cruz, U., Peralta-Torres, J. A., Ojeda-Robertos, N. F., Leon, R. E., & Garcia-Herrera, R. A. (2021). Requirements of milk intake and intake of milk components for pre-weaning growth of Pelibuey lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02436-x>

Cinar, M. U., Mousel, M. R., Herrmann-Hoesing, L. M., Taylor, J. B., & White, S. N. (2016). Ovar-DRB1 haplotypes \*2001 and \*0301 are associated with sheep growth

- and ewe lifetime prolificacy. *Gene*, 595(2), 187–192.  
<https://doi.org/10.1016/j.gene.2016.10.004>
- Combellas, J. De. (1980). Production and reproduction parameters of tropical sheep breeds in improved production systems. *Tropical Animal Production*, 266–272.
- Cook, N., Chabot, B., Liu, T., Froehlich, D., Basarab, J., & Juarez, M. (2020). Radiated temperature from thermal imaging is related to feed consumption, growth rate and feed efficiency in grower pigs. *Journal of Thermal Biology*, 94(November), 102747.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102747>
- Cook, N., Timsit, E., Colyn, J., Chabot, B., Liu, T., Wolfger, B., & Schaefer, A. (2016). Assessing Consistency in Radiated Thermal Output of Beef Steers by Infrared Thermography. *Journal of Imaging*, 2(3), 21.  
<https://doi.org/10.3390/jimaging2030021>
- Dauda, A. (2018). Morphological indices and stepwise regression for assessment of function and type of Uda sheep . *Journal of G*, 2(3), 13–16.
- de Castro, F. A. B., Ribeiro, E. L. de A., Mizubuti, I. Y., Silva, L. das D. F. da, Barbosa, M. A. A. de F., de Sousa, C. L., de Paiva, F. H. P., & Koritiaki, N. A. (2012). Influence of pre and postnatal energy restriction on the productive performance of ewes and lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(4), 951–958.  
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400017>
- De la Isla Herrera, G., Aké López, J. R., Ayala Burgos, A., & González-Bulnes, A. (2010). Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 41(3), 167–175.
- De Sousa, M. A. P., Lima, A. C. S., Araújo, J. C., Guimarães, C. M. C., Joele, M. R. S. P., Borges, I., Daher, L. C. C., & Silva, A. G. M. e. (2019). Tissue composition and allometric growth of carcass of lambs Santa Inês and crossbreed with breed Dorper. *Tropical Animal Health and Production*, 51(7), 1903–1908.  
<https://doi.org/10.1007/s11250-019-01886-2>
- de Zegher, F., Devlieger, H., & Eeckels, R. (1999). Fetal growth: boys before girls. *Hormone Research*, 51, 258-259.
- Dzib, C., Ortiz de Montellano, A., & Torres-Hernández, G. (2011). Variabilidad

- morfoestructural de ovinos Blackbelly en Campeche, México. *Archivos de Zootecnia*, 232(60), 1291–1301.
- Feng-Jenq, L. (2008). Solving multicollinearity in the process of fitting regression model using the nested estimate procedure. *Quality & Quantity*, 42(3), 417–426. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9055-1>
- Fernández Álvarez, J., León Jurado, J. M., Navas González, F. J., Iglesias Pastrana, C., & Delgado Bermejo, J. V. (2020). Optimization and Validation of a Linear Appraisal Scoring System for Milk Production-Linked Zoometric Traits in Murciano-Granadina Dairy Goats and Bucks. *Applied Sciences*, 10(16), 5502. <https://doi.org/10.3390/app10165502>
- Fuentes, S., Gonzalez Viejo, C., Chauhan, S. S., Joy, A., Tongson, E., & Dunshea, F. R. (2020). Non-Invasive sheep biometrics obtained by computer vision algorithms and machine learning modeling using integrated visible/infrared thermal cameras. *Sensors*, 20(21), 6334. <https://doi.org/10.3390/s20216334>
- García-Chávez, C. A., Luna-Palomera, C., Macías-Cruz, U., Segura-Correa, J. C., Ojeda-Robertos, N. F., Peralta-Torres, J. A., & Chay-Canúl, A. J. (2020). Crecimiento de corderos y productividad en ovejas Pelibuey mantenidas bajo condiciones tropicales de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 884–893. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5157>
- García-Osorio, del C. (2016). A note on the changes in the preweaning growth of Pelibuey lambs.
- Gardner, D. S., Buttery, P. J., Daniel, Z., & Symonds, M. E. (2007). Factors affecting birth weight in sheep: Maternal environment. *Reproduction*, 133(1), 297–307. <https://doi.org/10.1530/REP-06-0042>
- Garrick, D. J., & Fernando, R. (2014). Genomic prediction and genome-wide association studies in beef and dairy cattle. In 'The genetics of cattle'. (Ed. D Garrick), 474–501. (CABI: Wallingford, UK).
- Gebreselassie, G., Berihulay, H., Jiang, L., & Ma, Y. (2020). Review on genomic regions and candidate genes associated with economically important production and reproduction traits in sheep ( *Ovis aries*). *Animals*, 10, 33. <https://doi.org/10.3390/ani10010033>

- Gizaw, S., Komen, H., & van Arendonk, J. A. M. (2008). Selection on linear size traits to improve live weight in Menz sheep under nucleus and village breeding programs. *Livestock Science*, 118(1–2), 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.01.006>
- González-Domínguez, G., Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J. C., González-Garduño, R., & García-Osorio, I. del C. (2016). Análisis del crecimiento predestete de corderos Barbados Barriga Negra en clima cálido húmedo TT - Prewaning growth analysis of Blackbelly lambs in hot humid weather. *Nova Scientia*, 8(17), 181–197.
- González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., & Arece-García, J. (2010). Comportamiento productivo y reproductivo de ovinos Pelibuey en un sistema de pariciones aceleradas con tres épocas de empadre al año. *Zootecnia Tropical*, 28(1), 51–56.
- González-Godínez, A., Urrutia-Morales, J., & Gámez-Vázquez, H. G. (2014). Comportamiento reproductivo de ovejas Dorper y Kathadin empadradas en primavera en el norte de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.
- Gootwine, E., Spencer, T. E., & Bazer, F. W. (2007). Litter-size-dependent intrauterine growth restriction in sheep. *Animal*, 1(4), 547–564. <https://doi.org/10.1017/S1751731107691897>
- Hahn GL. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science* 82 (Suppl. 2), 10–20.
- Hayes, B. J., Lewin, H. A., & Goddard, M. E. (2013). The future of livestock breeding: Genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. In *Trends in Genetics*, 29 (4), 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2012.11.009>
- Hernández-Espinoza, D. F., Oliva-Hernández, J., Pascual-Córdova, A., & Hinojosa-Cuéllar, J. A. (2012). Descripción de medidas corporales y composición de la canal en corderas Pelibuey: Estudio preliminar (nota técnica). *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 22(1), 24–31.
- Hjalmar, K. S., & Burghardt, T. (2013). Animal biometrics: quantifying and detecting phenotypic appearance. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(7), 432–441. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.02.013>
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Segura-Correa, J. C., & Torres-Hernández,

- G. (2019). *Importancia del peso de la oveja al parto en el comportamiento predestete de corderos Pelibuey*. 30(4), 1569–1578. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17267>
- Hinojosa-Cuellar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J. C., Aranda-Ibañez, E. M., & González-Camacho, J. M. (2012). Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*, 28(2), 163–171.
- Hinojosa-Cuellar, J., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J., & González-Garduño, R. (2015). Productividad de ovejas F1 Pelibuey x Blackbelly y sus cruces con Dorper y Katahdin en un sistema de producción del trópico húmedo de Tabasco, México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(2), 167–174. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2015000200007>
- Hinojosa Cuéllar, J. A., Oliva Hernández, J., Torres Hernández, G., Segura Correa, J. C., & González Garduño, R. (2018). Crecimiento pre y postdestete de corderos Pelibuey en clima cálido húmedo. *Nova Scientia*, 10(20), 328–351. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1335>
- Hinojosa-Cuellar, J. A., Regalado-Arazola, F. de M., & Oliva-Hernández, J. (2009). Crecimiento prenatal y predestete en corderos Pelibuey, Dorper, Katahdin y sus cruces en el sureste de México. *Revista Científica*, 19(5), 522-532.
- Iqbal, Z. M., Javed, K., Abdullah, M., Ahmad, N., Ali, A., Khalique, A., Aslam, N., & Younas, U. (2014). Estimation of body weight from different morphometric measurements in Kajli lambs. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(3), 700–703. <https://doi.org/10.13140/2.1.4283.9687>
- Jahuey-Martínez, F. J., Parra-Bracamonte, G. M., Garrick, D. J., López-Villalobos, N., Martínez-González, J. C., Sifuentes-Rincón, A. M., & López-Bustamante, L. A. (2020). Accuracies of direct genomic breeding values for birth and weaning weights of registered Charolais cattle in Mexico. *Animal Production Science*, 60(6), 772–779. <https://doi.org/10.1071/AN18363>
- Jarquín, J.C.S., Ponce, S.I.R., Aguilar, M.D., Ávila, H.R.V., Sandoval, V.H.C., & Montemayor, H.M.A., 2019. Morphostructural characterization of the Black Creole



- goat raised in central Mexico, a currently threatened zoogenetic resource. *Animals* 9 (7), 459
- Jucá, A. D. F., Faveri, J. C., Filho, G. M. M., Filho, A. de L. R., Azevedo, H. C., Muniz, E. N., & Pinto, L. F. B. (2014). Performance of the Santa Ines breed raised on pasture in semiarid tropical regions and factors that explain trait variation. *Tropical Animal Health Production*, 46, 1249–1256. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0635-0>
- Kunene, N. W., Nesamvuni, A. E., & Nsahlai, I. V. (2009). Determination of prediction equations for estimating body weight of Zulu (Nguni) sheep. *Small Ruminant Research*, 84(1–3), 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.05.003>
- Knížková, I., Kunc, P., Gürdil, G. A. K., Pinar, Y., & Selvi, K. C. (2007). Applications of infrared thermography in animal production. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 22(3): 329 – 336.
- Labeur, L., Villiers, G., Small, A. H., Hinch, G. N., & Schmoelzl, S. (2017). Infrared thermal imaging as a method to evaluate heat loss in newborn lambs. *Research in Veterinary Science*, 115, 517–522. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.09.023>
- Lage, C. F. A., Coelho, S. G., Neto, H. C. D., Malacco, V. M. R., Rodrigues, J. P. P., Sacramento, J. P., Teixeira, V. A., Machado, F. S., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., & Campos, M. M. (2020). Relationship between feed efficiency indexes and thermography, blood, and ruminal parameters in pre-weaning dairy heifers. *Biological Basis of RFI in Pre-Weaning Phase*, 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236118>
- Leão, J. M., Coelho, S. G., Machado, F. S., Azevedo, R. A., M Lima, J. A., Carneiro, J. C., A Lage, C. F., Ferreira, A. L., R Pereira, L. G., Tomich, T. R., & Campos, M. M. (2018). *Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography*. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14109>
- Lôbo, A. M. B. O., Lôbo, R. N. B., Paiva, S. R., Oliveira, S. M. P. de, & Facó, O. (2009). Genetic parameters for growth, reproductive and maternal traits in a multibreed meat sheep population. *Genetics and Molecular Biology*, 32(4), 761–770. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572009005000080>
- López-Carlos, M. A., Ramírez, R. G., Aguilera-Soto, J. I., Aréchiga, C. F., & Rodríguez,

- H. (2010). Size and shape analyses in hair sheep ram lambs and its relationships with growth performance. *Livestock Science*, 131(2–3), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.04.001>
- López-Carlos, M., Fernández-Mier, R., Aréchiga-Flores, C., Hernández-Briano, P., Medina-Flores, C., & Ramírez-Chéquer, J. (2021). Crecimiento de corderos de pelo en el altiplano semiárido de Zacatecas durante el invierno. *Abanico Veterinario*, 11, 2–14.
- López-Leyva, Y., Arece-García, J., & González-Garduño, Glafiro Torres-Hernández, R. (2017). Efecto del número de partos en el comportamiento productivo de ovejas Pelibuey y mestizos de Pelibuey en condiciones de producción. *Pastos y Forrajes*, 40(1), 73–77.
- Loos, R.J.F, Derom, C., Eeckels, R., Derom, R., & Vlietinck, R. (2007). Gestation and birth weight in dizygotic twins: Girls call the tune. *Twin Research and Human Genetics Supplement*, 6-7.
- Macedo, R, & Arredondo, V. (2008). Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo. *Archivos de Zootecnia*, 57, 219–228.
- Macedo, Rafael, Arredondo, V., Rodríguez, J., Ramírez, J., & López, B. (2010). Efecto del sistema de producción, de la época de nacimiento y de sexo sobre la mortalidad neonatal de corderos Pelibuey. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12, 77–84.
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F., Olgún-Arredondo, H., Molina-Ramírez, L., & Avendaño-Reyes, L. (2012). Ovejas Pelibuey sincronizadas con progestágenos y apareadas con machos de razas Dorper y Katahdin bajo condiciones estabuladas: producción de la oveja y crecimiento de los corderos durante el período predestete. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44(1), 29–37. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2012000100005>
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F., Rodríguez-García, J., Correa-Calderón, A., Torrentera-Olivera, N., Molina-Ramírez, L., & Avendaño-Reyes, L. (2010). Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. *Archivos de Medicina Veterinaria*,

42(3), 147–154. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2010000300005>

- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A., Molina-Ramírez, L., González-Reyna, A., Soto-Navarro, S., & Avendaño-Reyes, L. (2009). Pelibuey Ewe Productivity and Subsequent Pre-Weaning Lamb Performance Using Hair-sheep Breeds Under a Confinement System. *Journal of Applied Animal Research*, 36(2), 255-260.
- Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Aréchiga, C. F., & Avendaño-Reyes, L. (2018b). Thermoregulatory response to outdoor heat stress 43 of hair sheep females at different physiological state. *Journal Biometeorology*, 62 (12):2151 – 2160
- Macías-Cruz, U., Gastélum, M. A., Álvarez, F. D., Correa, A., Díaz, R., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., & Avendaño-Reyes, L. (2016). Effects of summer heat stress on physiological variables, ovulation and progesterone secretion in Pelibuey ewes under natural outdoor conditions in an arid region. *Animal Science Journal*, 87(3), 354–360. <https://doi.org/10.1111/asj.12430>
- Macías-Cruz, U., Mejía-Vázquez, A., Vicente-Pérez, R., Correa-Calderón, A., Robison, P., Mellado, M., Meza-Herrera, C., Guerra-Liera, J., & Avendaño-Reyes, L. (2017). Effects of soybean oil inclusion in the pre-lambing diet on udder size, colostrum secretion, and offspring thermoregulation and growth in hair-breed ewes. *Livestock Science*. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.08.006>
- Maniatis, N., & Pollott, G. E. (2002). Genotype by environment interactions in lamb weight and carcass composition traits. *Animal Science*, 75(1), 3–14. <https://doi.org/10.1017/S1357729800052772>
- McManus, C., Tanure, C. B., Peripolli, V., Seixas, L., Fischer, V., Gabbi, A. M., & Costa, J. B., G. (2016). Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 10–16. doi: 10.1016/j.compag.2016.01.027.
- Magaña-Monforte, J. G., Huchin-Cab, M., Ake-López, R. J., & Segura-Correa, J. C. (2013). A field study of reproductive performance and productivity of Pelibuey ewes in Southeastern Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8), 1771–1776. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0431-2>

- Magaña-Monforte, J. G., Nasrat, M. M., Montes-Pérez, R. C., Aké-López, J. R., & Segura-Correa, J. C. (2018). Factors affecting the productivity and the efficiency at weaning of hair ewes in a dry tropical environment. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(11), 946–951. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i11.1859>
- Mahrous, K., Hassanane, M., Shafey, H., Abdel Mordy, M., & Rushdi, H. (2016). Association between single nucleotide polymorphism in ovine Calpain gene and growth performance in three Egyptian sheep breeds. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 14, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.09.003>
- Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep—A review. *Small Ruminant Research*, 71(1–3), 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.SMALLRUMRES.2006.10.003>
- Martello, L. S., da Luz e Silva, S., da Costa Gomes, R., da Silva Corte, R. R. P., & Leme, P. R. (2016). Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *International Journal of Biometeorology*, 60(1), 173–181. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1015-9>
- Mellado, M., Macias, U., Avendaño, L., Mellado, J., & Garcia, J. E. (2016). Growth and pre-weaning mortality of Katahdin lamb crosses. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(4), 288–295. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n4a06>
- Mellor, D., & Stafford, K. (2004). Animal welfare implications of neonatal mortality and morbidity in farm animals. *The Veterinary Journal*, 168(2), 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2003.08.004>
- Menant, O., Ungerfeld, R., Pérez-Clariget, R., & Freitas-de-Melo, A. (2020). Is body surface temperature measured on the single lambs' back a reliable indicator of the ewe-lamb bond around birth?. *Journal of Thermal Biology*, 93, 102699. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102699>
- Michels, H., Decuypere, E., & Onagbesan, O. (2000). Litter size, ovulation rate and prenatal survival in relation to ewe body weight: genetics review. *Small Ruminant Research*, 38(3), 199–209. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00169-3)
- Montanholi, Y. R., Swanson, K. C., Schenkel, F. S., McBride, B. W., Caldwell, T. R., &

- Miller, S. P. (2009). On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livestock Science*, 125(1), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.02.022>
- Montellano, A. (2005). Selección de remplazos en el rebaño ovino. In: Memorias del IV seminario de Producción de Ovinos en el Trópico. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 52-60.
- Moradian, C., Mohamadi, N., Razavi-Sheshdeh, A., Hajhosseinlo, A., & Ashrafi, F. (2013). Effects of genetic polymorphism at the growth hormone gene on growth traits in Makoei sheep. In *Pelagia Research Library European Journal of Experimental Biology*, 3, 3.
- Myers, R. H. (1990). *Classical and modern regression with applications*. 277–368.
- Nava-lópez, V. M., Oliva-Hernández, J., & Hinojosa-Cuellar, J. (2006). Mortalidad de los ovinos de pelo en tres épocas climáticas en un rebaño comercial en la chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 22(2), 119–129.
- Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., Schmid, K., Li, C., Basarab, J. a, Price, M. a, Wang, Z., & Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1), 145–153. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16361501>
- Notter, D. R. (2000). Effects of ewe age and season of lambing on prolificacy in US Targhee, Suffolk, and Polypay sheep. *Small Ruminant Research*, 38, 1–7.
- Oliva-Hernández, J., & del C García-Osorio, I. (2016). A note on the changes in the preweaning growth of Pelibuey lambs. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48(3), 293–298. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2016000300008>
- Ordoñez-Gomez, C. A. (2018). Relation of growth of crossbred hair sheep with some zoometric measures. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(2), 281–286.
- Paim, T. P., Goulart, R. D. O., da Silva, D. A. L., Sousa, J. D. A., Gonçalves, L. F., Claudio, F. L., Calgaro Júnior, G., Gléria, A. A., Santos, L. C., & Alves, E. M. (2018). Relationship of weight gain with infrared temperatures in Nelore and F1 (Nelore x Angus) heifers reared in two forage production systems. *Journal of Animal Science*, 96(9), 4002–4011. <https://doi.org/10.1093/jas/sky242>

- Paim, T. do P., Martins, R. F. S., Cardoso, C., Dallago, B., Louvandini, H., & McManus, C. (2014). Thermal comfort index and infrared temperatures for lambs subjected to different environmental conditions. *Scientia Agricola*, 71(5), 356–361. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0191>
- Poikalainen V., Praks, J., Veermae, I., & KokinInfrared, E. (2012). Temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. *Agronomy Research*, 10 (1), 187-194.
- Ponce, J. L., Macías, U., Álvarez, F. D., Velázquez, J. V., Avendaño, L., & Ly, J. (2013). Low doses of gonadotropin chorionic equine (GCe) to Pelibuey and pelibuey x romanov ewes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 47(1), 33–36.
- Quintanilla Medina, J. J., González Reyna, A., Hernández Meléndez, J., Limas Martínez, A. G., Carreón Pérez, A., & Martínez González, J. C. (2018). Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo en el noreste de México. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(2), 544–551. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i2.13863>
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707–728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- Rezende, M. P. G. de, Ferraz, P. C., Carneiro, P. L. S., & Malhado, C. H. M. (2017). Phenotypic diversity in buffalo cows of the Jafarabadi, Murrah, and Mediterranean breeds. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(8), 663–669. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800012>
- Ríos-Utrera, Calderón-Robles, A., R., Lagunes-Lagunes, J., & Oliva-Hernández, J. (2014). Ganancia de peso predestete en corderos Pelibuey y sus cruces con Blackbelly, Dorper y Katahdin. *Nova Scientia*, 6, 272-286.
- Rocha, E. D., Andrade, V. J., Euclides Filho, K., Nogueira, E., & Figueiredo, G. R. (2003). Tamanho de vacas Nelore adultas e seus efeitos no sistema de produção de gado de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 55(4), 474–479. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352003000400014>
- Romero, R. D., Montero Pardo, A., Montaldo, H. H., Rodríguez, A. D., & Hernández Cerón, J. (2013). Differences in body temperature, cell viability, and HSP-70

- concentrations between Pelibuey and Suffolk sheep under heat stress. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8), 1691–1696. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0416-1>
- Sabbioni, A., Beretti, V., Ablondi, M., Righi, F., & Superchi, P. (2018). Allometric coefficients for carcass and non-carcass components in a local meat-type sheep breed. *Small Ruminant Research*, 159, 69–74. <https://doi.org/10.1016/J.SMALLRUMRES.2017.11.005>
- Sañudo, C., 2009. Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España
- Saravia, C., & Cruz, G. (2003). Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación y producción animal. *Notas Técnicas v. 50. Facultad de Agronomía*, 36.
- Sarmiento, J. L. R., Torres, R. A., Pereira, C. S., Sousa, W. H., Lopes, P. S., Araújo, C. V., & Euclides, R. F. (2006). Avaliação genética de características de crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos de regressão aleatória [Genetic evaluation of growth traits of Santa Inês hair sheep using random regression models]. *Arquivos Brasileiros Medicina Veterinaria Zootecia*, 58(1), 68–77.
- Schaefer, A. L., Cook, N. J., Bench, C., Chabot, J. B., Colyn, J., Liu, T., Okine, E. K., Stewart, M., & Webster, J. R. (2012). The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, 93(2), 928–935. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.09.021>
- Schaefer, A. L., Ominski, K., Thompson, S., Crow, G., Bench, C., Colyn, J., Rodas-Gonzalez, A., Maharjan, D., Bollum, R., Cook, N. J., Basarab, J., & von Giza, H. (2018). Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. *Heliyon*, 4(10), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00843>
- Shibasaki, M., Okazaki, K., & Inoue, Y. (2013). Envejecimiento y termorregulación. *La revista de aptitud física y medicina deportiva*, 2 (1), 37-47.
- Shirzeyli, F. H., Lavvaf, A., & Asadi, A. (2013). Estimation of body weight from body measurements in four breeds of Iranian sheep. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 35(5), 507–511.

- Seixas, L., de Melo, C. B., Tanure, C. B., Peripolli, V., & McManus, C. (2016). Heat tolerance in Brazilian hair sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(4), 593–601. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0191>
- Shumbusho, F., Raoul, J., Astruc, J. M., Palhiere, I., Lemarié, S., Fugeray-Scarbel, A., & Elsen, J. M. (2016). Economic evaluation of genomic selection in small ruminants: A sheep meat breeding program. *Animal*, 10(6), 1033–1041. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002049>
- Silva, L. M., da Luz, S. S., da Costa, G. M., da Silva, C. R. R. P., & Leme, P. P. (2016). Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int. Journal Biometeorology*, 60, 173-181.
- Silva Souza, J. I., do Santos Difante, G., Virgínio Emerenciano NetoID, J., ^ ngela Maria Quintão Lana, A., Fernanda da Silva Roberto, F., & Henrique Cavalcante Ribeiro, P. (2019). *Biometric measurements of Santa Inês meat sheep reared on Brachiaria brizantha pastures in Northeast Brazil*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219343>
- Silva, B. D. M., Castro, E. A., Souza, C. J. H., Paiva, S. R., Sartori, R., Franco, M. M., Azevedo, H. C., Silva, T. A. S. N., Vieira, A. M. C., Neves, J. P., & Melo, E. O. (2010). A new polymorphism in the Growth and Differentiation Factor 9 (GDF9) gene is associated with increased ovulation rate and prolificacy in homozygous sheep. *Animal Genetics*, 42(1), 89–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02078.x>
- Sahni, R., (2017). Temperature control in newborn infants. In: *Fetal and Neonatal Physiology*. Elsevier, 459–482. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35214-7.00046-9>
- Souza, D. S., Silva, H. P., Carvalho, J. M. P., Melo, W. O., Monteiro, B. M., & Oliveira, D. R. (2014). Desenvolvimento corporal e relação entre biometria e peso de cordeiros lactantes da raça Santa Inês criados na Amazônia [Growth of Santa Inês lambs until weaning and relationship between biometric measurements and body weight, when raised in the Amazonia climate]. *Arquivo Brasileiro Medicina Veterinaria Zootecnia*, 66(6), 1787–1794. <https://doi.org/10.1590/1678-7364>
- Souza, S., Leal, A., Barioni, C., Matos, A., Moraes, J., Araújo, M., Neto, O., Santos, A., &



- Costa, R. (2009). Utilização de medidas biométricas para estimar peso vivo em ovinos. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 17(3), 61–66.
- Stewart, M., Webster, J.R., Verkerk, G. A., Schaefer, A. L., Colyn, J. J., & Stafford, K. J. (2007). Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiology and Behavior*, 92, 520–525.
- Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: A basic review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 35–39. <https://doi.org/10.1177/875647939000600106>
- Tec-Canché, J. E., Magaña-Monforte, J. G., & Segura-Correa, J. C. (2016). Environmental effects on productive and reproductive performance of Pelibuey ewes in Southeastern México. *Journal of Applied Animal Research*, 44(1), 508–512. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1102730>
- 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>
- Thompson, S., Schaefer, A. L., Crow, G. H., Basarab, J., Colyn, J., & Ominski, K. (2018). Relationship between residual feed intake and radiated heat loss using infrared thermography in young beef bulls. *Journal of Thermal Biology*, 78, 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.10.007>
- Urbano, S., Ferreira, M., Rangel, A., Lima Júnior, D., Andrade, R., & Luciano, P. (2017). Lamb feeding strategies during the pre-weaning period in intensive meat production systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 49–63.
- Vicente-Pérez, R., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Luna-Palomera, C., & Chay-Canul, A. J. (2019). Relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de pelo obtenidas por termografía en ovejas gestantes estresadas por calor. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 20, 1–12. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.035>
- Vicente-Pérez, R., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., López Baca, M. A., & Lara Rivera, A. L. (2016). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.
- Vicente Pérez, R., Macías Cruz, U., Avendaño Reyes, L., Correa Calderón, A., López Baca, M. D. los Á., & Lara Rivera, A. L. (2020). Impacto del estrés por calor en la

- producción de ovinos de pelo. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 205–222. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>
- Vicente-Pérez, R., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., García-Flores, E. O., Martínez-Martínez, R., Montañez-Valdez, O. D., Reyes-Gutiérrez, J. A., Chay-Canul, A. J., & Crosby-Galván, M. M. (2021). Suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en el empadre de ovejas nulíparas Katahdin: eficiencia reproductiva y crecimiento pre-destete de las crías. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(2), 586–597. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5540>
- Vilaboa Arroniz, J., Bozzi, R., Díaz Rivera, P., & Bazzi, L. (2010). *Conformación corporal de las razas ovinas Pelibuey, Dorper y Kathadin en el estado de Veracruz, México. Zootecnia Tropical*. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692010000300003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692010000300003)
- Wang, H., Zhang, L., Cao, J., Wu, M., Ma, X., Liu, Z., Liu, R., Zhao, F., Wei, C., & Du, L. (2015). *Genome-Wide Specific Selection in Three Domestic Sheep Breeds*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128688>
- Yilmaz, O., Cemal, I., & Karaca, O. (2013). Estimation of mature live weight using some body measurements in Karya sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 45(2), 397–403. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0229-7>
- Zhang, L., Ma, X., Xuan, J., Wang, H., Yuan, Z., Wu, M., Liu, R., Zhu, C., Wei, C., Zhao, F., & Du, L. (2016). Identification of MEF2B and TRhDE gene polymorphisms related to growth traits in a new ujumqin sheep population. *PLoS ONE*, 11(7), e0159504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159504>