

Estudio hematológico de bovinos criollos y Brown Swiss criados en los Andes de Perú

Haematological study of Creole and Brown Swiss cattle raised in the Andes of Peru

Gonzalo W. Gonzales Aparicio^{1,3}, Gustavo A. Gutiérrez Reynoso¹,
Federico A. Ponce de León², Denise Chauca Francia¹

RESUMEN

Se evaluaron las características hematológicas básicas de un grupo de 184 bovinos criollos (CRIZA) y 128 bovinos Brown Swiss (BSZA) machos y hembras, criados en los Andes de Perú entre 3213 y 4309 msnm, y su comparación con muestras de un grupo de 11 bovinos con «Mal de altura» (BSMA) y con otro grupo de 31 bovinos Brown Swiss criados entre 243 y 1306 msnm (BSZB). El recuento de glóbulos rojos (RGR) fue de 14.95, 8.34, 8.25 y $7.10 \times 10^6/\mu\text{l}$ en BSMA, BSZA, CRIZA y BSZB, respectivamente. El hematocrito (Ht) fue de 61.44, 45.83, 42.61 y 34.99% para BSMA, CRIZA, BSZA y BSZB, respectivamente. La hemoglobina (Hb) fue de 16.26, 12.86, 12.22 y 9.65 g/dl en bovinos BSMA, CRIZA, BSZA y BSZB, respectivamente. Los promedios mostraron amplia variación. Tomando como criterio el Ht, se identificaron bovinos BSZA y CRIZA pertenecientes al decil superior formándose dos grupos con valores extremos (BSZAVE y CRIZAVE), los cuales presentaron valores de Ht, RGR y recuento de glóbulos blancos (RGB) inferiores al de bovinos BSMA ($p < 0.01$). Se encontró una correlación general de 0.92 entre Hb y Ht, la misma que varió entre 0.83 en BSMA a 0.94 en BSZB ($p < 0.05$), pero no entre BSZA y CRIZA. Los valores elevados de Ht, RGR y RGB podrían ser considerados como indicadores relacionados con la susceptibilidad de bovinos ante condiciones de hipoxia por altitud.

Palabras clave: enfermedad del pecho, hematocrito, hemoglobina, tierras altas

¹ Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú

² Department of Animal Science, University of Minnesota, USA

³ E-mail: gonzalo.wlad@gmail.com

Recibido: 18 de enero de 2020

Aceptado para publicación: 7 de agosto de 2020

Publicado: 25 de noviembre de 2020

ABSTRACT

The basic hematological characteristics of a group of 184 Creole cattle (CRIZA) and 128 Brown Swiss cattle (BSZA) both male and females, reared in the Andes of Peru between 3213 and 4309 meters above sea level, were evaluated and compared with samples from a group of 11 cattle with brisket disease (BSMA) and with another group of 31 Brown Swiss cattle reared between 243 and 1306 meters above sea level (BSZB). The red blood cell count (RBC) was 14.95, 8.34, 8.25 and $7.10 \times 10^6/\mu\text{l}$ in BSMA, BSZA, CRIZA and BSZB, respectively. Haematocrit (Ht) was 61.44, 45.83, 42.61 and 34.99% for BSMA, CRIZA, BSZA and BSZB, respectively. Haemoglobin (Hb) was 16.26, 12.86, 12.22 and 9.65 g/dl in BSMA, CRIZA, BSZA and BSZB, respectively. The averages showed wide variation. Taking the Ht criterion, BSZA and CRIZA cattle belonging to the upper decile were identified, forming two groups with extreme values (BSZAVE and CRIZAVE), which presented values of Ht, RBC and white blood cell count (WBC) lower than those of BSMA cattle ($p < 0.01$). An overall correlation of 0.92 was found between Hb and Ht, the same that ranged from 0.83 in BSMA to 0.94 in BSZB ($p < 0.05$), but without significant difference between BSZA and CRIZA. High values of Ht, RBC and WBC could be considered as indicators related to the susceptibility of cattle to hypoxic conditions due to altitude.

Key words: brisket disease, haematocrit, haemoglobin, highlands

INTRODUCCIÓN

La mayor población de ganado bovino en Perú es criada en la sierra, región geográfica que comprende zonas montañosas de altitudes muy variadas que van desde los 500 a 6768 msnm y que se caracteriza por tener valles interandinos, mesetas altiplánicas y montañas (Pulgar-Vidal, 1987). Algunas características de este medio ambiente son la baja presión parcial de oxígeno, los grandes rangos de variación térmica diaria y estacional y la alta radiación, entre otras (Ayón y Cueva, 1998).

En altitudes por encima de los 3300 msnm se desarrolla la crianza de bovinos criollos, los que representan el 64% de la población bovina de Perú (INEI, 2012). Se les considera como animales muy rústicos y adaptados a dicho entorno ambiental; sin embargo, presentan bajo rendimiento productivo (Quispe *et al.*, 2014; Quispe, 2016). Este he-

cho ha generado la introducción de animales especializados en producción lechera, mayormente de raza Brown Swiss, habiéndose observado un incremento del 145.8% en su población entre 1994 y 2012 (INEI, 1994, 2012). Estos animales, si bien han crecido, producido y reproducido en los Andes peruanos, no están exentos de padecer problemas relacionados a su crianza en zonas de gran altura (Valenzuela *et al.*, 2017).

Es conocido que los bovinos desarrollan el llamado «mal de altura» al ser expuestos a altitudes por encima de 2500 msnm, síndrome que se caracteriza por una marcada hipertensión arterial pulmonar e insuficiencia cardíaca derecha que puede llevar a la muerte (Holt y Callan, 2007; Valenzuela *et al.*, 2017). El desarrollo de la hipertensión arterial se atribuye a la vasoconstricción de las arteriolas pulmonares al ser expuestas a bajas presiones parciales de oxígeno del aire inspirado, condición que se puede exacerbar en ambientes con bajas temperaturas (Holt y Callan, 2007).

Con la finalidad de poder predecir si un determinado animal es susceptible a desarrollar este síndrome se han evaluado diversos procedimientos y técnicas, siendo el más usual, la medición de la presión arterial pulmonar (PAP) (Newman, 2011; Wuletaw *et al.*, 2011). También suele evaluarse parámetros hematológicos como indicadores de la respuesta fisiológica ante condiciones de baja presión parcial de oxígeno, donde se estimula la producción de eritropoyetina y la subsecuente eritropoyesis (Claxton y Ortiz, 1996). La policitemia es considerada como un mecanismo compensatorio para mejorar el aporte de oxígeno a los tejidos (Ocampo, 2004), la cual es una característica resaltante en el proceso de aclimatación de humanos que radican en ambientes de gran altitud (Monge y León-Velarde 1991; Jefferson *et al.*, 2002; Heinicke *et al.*, 2003); sin embargo, la alta concentración de glóbulos rojos y el elevado valor de hematocrito (Ht) han sido asociados con el incremento de la presión arterial con los subsecuentes problemas cardiovasculares (Vogel *et al.*, 2003). Por otro lado, los valores de hemoglobina (Hb) por encima de 21 g/dl indicarían el padecimiento de mal de altura crónico en aquellas personas que radican en grandes alturas (Aregui *et al.*, 1990).

En especies domesticas como ovinos y bovinos criados en ambientes de gran altitud se han observado valores hematológicos elevados de Ht, recuento de glóbulos rojos (RGR) y Hb en comparación con aquellos en animales criados en ambientes de baja altitud (Monge y León-Velarde, 1991; Claxton y Ortiz, 1996; Tibbo *et al.*, 2004; Cuba, 2014; Sharma *et al.*, 2015). Por otro lado, en especies domésticas como la alpaca se observan valores hematológicos relativamente bajos cuando se encuentran expuestos en ambientes de gran altitud, pero valores de RGR y concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) relativamente altos y con amplia variación (Foster *et al.*, 2009; Escalante, 2017; Tallacagua y Mamani, 2017), a diferencia de lo que ocurre en yaks (*Bos*

grunniens), bóvidos adaptados a ambientes de gran altitud que presentan RGR más bajos y CHCM altos (Barari *et al.*, 1995).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las características hematológicas básicas de poblaciones de bovinos criollos y Brown Swiss criados en ambientes de gran altitud y compararlas con bovinos que padecen de mal de altura y con bovinos Brown Swiss criados en entorno de baja altitud. Además, se analizaron las correlaciones fenotípicas entre las características hematológicas para generar una ecuación de regresión lineal para estimar la concentración de Hb a partir de alguna otra característica hematológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

Se tomaron muestras de sangre de bovinos criados en las zonas altoandinas de Ancash, Apurímac, Cusco, Pasco y Puno (Perú), situadas entre 3123 y 4309 msnm y en zonas bajas de las regiones de Lima y Cusco (Perú) situadas entre 243 y 1306 msnm. Las condiciones climatológicas en las zonas altas de la sierra, tomando como referencia a la provincia de Espinar en Cusco, fueron de 16.9 °C durante el día y -1.2 °C durante la noche, con un rango de temperatura mínima de -13 a +6.4 °C y máxima entre 14.2 y 19.2 °C, y una precipitación pluvial de 750 mm. El ambiente de baja altitud referencial fue Lima, con temperatura promedio anual de 19.2 °C (16.2 – 26.4 °C) y precipitación pluvial de 16 mm (SENAMHI, 2019).

Los análisis de las muestras, dependiendo de la procedencia, fueron realizadas en el laboratorio de fisiología animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco y en el Instituto de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima.

Población y Muestra

Se identificaron varias poblaciones de bovinos criollos y Brown Swiss machos y hembras de condición aparentemente sana y de edad diversa, criados entre los 3213 y 4309 msnm. Se seleccionó un grupo (n=184) al que se denominó bovinos criollos de zonas altas (CRIZA) y un grupo (n=126) de animales Brown Swiss de zonas altas (BSZA). Además, se formó un tercer grupo de individuos Brown Swiss (n=11) en este ambiente que manifestaron mal de altura (BSMA). Por último, se identificó un cuarto grupo (n=31) de bovinos criados entre 243 y 1306 msnm, denominados como Brown Swiss de zonas bajas (BSZB).

Se colectaron 6 ml de sangre de la vena caudal en tubos al vacío conteniendo 10.8 mg de anticoagulante K₂EDTA. Las muestras fueron conservadas a 5 °C hasta su evaluación. En el caso del ganado bovino criollo, las muestras fueron colectadas entre diciembre y mayo, meses con mayor abundancia y mejor calidad de pastizales naturales. En el caso de los bovinos Brown Swiss el muestreo se realizó durante todo el año debido su manejo semiestabulado, el cual implica empleo adicional de forrajes en su alimentación.

Análisis Hematológicos

Recuento de glóbulos rojos (RGR)

Se diluyó un volumen de 20 µl de sangre en 3980 µl de solución salina fisiológica. Se homogenizó y se extrajo 15 µl que se colocaron sobre la cámara de Neubauer para el recuento de células en cinco recuadros de la cámara central, usando un microscopio de contraste de fase. El promedio de recuento de ambas cámaras fue multiplicado por un factor de dilución de 10 000. Los valores fueron expresados en millones por microlitro.

Recuento de glóbulos blancos (RGB)

Se diluyó un volumen de 20 µl de sangre en 380 µl de solución Turk (2 ml de ácido acético glacial, 1 mL de violeta de genciana al 1% y 97 ml de agua destilada). Se homogenizó y se extrajo 15 µl que se colocaron sobre la cámara de Neubauer para el recuento de células en las cuatro cámaras externas, usando un microscopio de contraste de fase. El promedio de recuento de ambas cámaras fue multiplicado por un factor de dilución de 100. Los valores fueron expresados en miles por microlitro.

Hematocrito (Ht)

Se depositó sangre homogenizada en un tubo capilar y se centrifugó a 10 000 rpm por 5 min. La determinación del Ht se hizo mediante observación directa con la ayuda de una regla de medición. El valor se expresó en porcentaje.

Hemoglobina (Hb)

Se colocó 10 µl de sangre homogenizada sobre una tira reactiva previamente insertada en un equipo de medición electrónica *Mission HB®*. Esta medición se realizó dentro de las primeras 8 h de la extracción de sangre. Los valores se expresaron en g/dl.

Índices eritrocitarios

- Volumen corpuscular medio (VCM) = $(Ht/RGR)*10$ [expresado en femtolitros (fl)].
- Hemoglobina corpuscular media (HCM) = $(Hb*10)/RGR$ [expresado en picogramos (pg)].
- Concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) = Hb/Ht (expresado en porcentaje).

Análisis Estadístico

Los valores porcentuales obtenidos fueron transformados con la función de raíz cuadrada del arcoseno, luego se efectuó un análisis de correlación de Pearson entre las características de estudio de forma general y para cada grupo y un análisis de regresión entre Hb y Ht.

Las significancias de las diferencias observadas en las correlaciones se efectuaron mediante la transformación de los coeficientes de correlación a coeficientes Z de Fisher y el empleo de la Q de Cohen con un nivel de significancia del 0.05.

Para el análisis de varianza entre grupos evaluados se usó un modelo de arreglo factorial $4 \times 2 \times 3$, cuya representación lineal es: $Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + C_k + (T*S)_{ij} + (T*C)_{ik} + (S*C)_{jk} + e_{ijk}$, donde: Y_{ijk} es la variable respuesta; μ es la media general; T_i es el efecto del i-esimo grupo de animales (BSMA, BSZA, CRIZA, BSZB); S_j es el efecto del j-esimo sexo (macho, hembra); C_k es el efecto de la k-esima condición corporal (2, 3, 4); $(T*S)_{ij}$ es la interacción entre el i-esimo grupo de animales y el j-esimo sexo; $(T*C)_{ik}$ es la interacción entre el i-esimo grupo de animales y la k-esima condición corporal; $(S*C)_{jk}$ es la interacción entre el j-esimo sexo y la k-esima condición corporal y e_{ijk} es el residual. Para la comparación de medias se usó prueba de LSD. En todos los análisis se empleó el programa R v. 3.6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Correlación entre Variables Hematológicas

La correlación existente entre Ht y Hb, tuvo un valor general de 0.92 ($p < 0.01$), pero en el caso específico de los bovinos BSZB y CRIZA fueron de 9 y 3% más bajas que el

valor general (Cuadro 1). Las diferencias observadas entre los grupos evaluados fueron significativas ($p < 0.05$), salvo aquella observada entre bovinos BSZA y CRIZA (Cuadro 2), lo que implica que el comportamiento de la correlación entre Hb y Ht es la misma en ambos grupos de animales.

En general, las correlaciones encontradas fueron más altas que las obtenidas por Turkson y Ganyo (2015) quienes obtuvieron un valor medio de 0.74. Es sabido que de forma indirecta se puede calcular la concentración de Hb usando el valor de Ht multiplicándolo por 3 (Bain y Bates, 2011), haciéndose esto por la relativa facilidad para determinar el Ht respecto a la determinación directa de Hb (Quintó *et al.*, 2006). Por tanto, tomando en consideración el alto grado de correlación existente entre estas variables, se estimó el valor de Hb usando diferentes fórmulas, las cuales no difieren en gran medida, teniendo además, altos coeficientes de determinación ajustados, salvo para el caso de las formulas halladas para BSZB (Cuadro 3).

También se pudo determinar una correlación general de 0.71 entre RGR y Ht, observándose además una amplia diferencia en el valor de la correlación, cuando se analizaron las poblaciones específicas, sobre todo para BSMA y BSZB. Además, se obtuvo una correlación de 0.63 con rangos de variación amplios entre Hb y RGR, siendo menor el valor obtenido para CRIZA (Cuadro 1). No se hicieron evaluaciones de regresión, dado que no presentan correlaciones que estén por encima de las observadas entre Ht y Hb, además de que la posibilidad de determinar el RGR requiere de equipos automáticos, semiautomáticos o del empleo de microscopios y cámaras de recuento celular lo que implica una inversión mayor en tiempo y recursos, respecto al tiempo requerido para el proceso de centrifugación de tubos capilares con las muestras de sangre.

Cuadro 1. Correlaciones entre variables hematológicas de bovinos Brown Swiss (BSZB) criados en baja altitud (243 y 1306 msnm) y bovinos criollos (CRIZA) y Brown Swiss (BSZA) criados en zonas altoandinas (CRIZA, 3213 y 4309 msnm) y en bovinos con “mal de altura” (BSMA)

Grupo	Variable	Ht	RGR	RGB	Hb	VCM	HCM	CHCM
General	Ht	1	0.71 ²	0.12 ¹	0.92 ²	0.28 ²	0.17 ²	-0.17 ²
	RGR		1	0.21 ²	0.63 ²	-0.46 ²	-0.47 ²	-0.16 ²
	RGB			1	0.08	-0.12 ¹	-0.14 ¹	-0.09
	Hb				1	0.29 ²	0.36 ²	0.22 ²
	VCM					1	0.88 ²	0.01
	HCM						1	0.47 ²
	CHCM							1
BSMA (n=11)	Ht	1	0.89 ²	0.17	0.94 ²	0.04	0.06	0.00
	RGR		1	0.22	0.86 ²	-0.42	-0.31	0.08
	RGB			1	0.36	-0.21	0.23	0.60
	Hb				1	-0.03	0.22	0.34
	VCM					1	0.73 ¹	-0.24
	HCM						1	0.49
	CHCM							1
BSZA (n=31)	Ht	1	0.65 ²	0.02	0.91 ²	0.41 ²	0.28 ²	-0.13
	RGR		1	0.09	0.56 ²	-0.41 ²	-0.43 ²	-0.17
	RGB			1	0.00	-0.06	-0.07	-0.04
	Hb				1	0.41 ²	0.49 ²	0.30 ²
	VCM					1	0.87 ²	0.04
	HCM						1	0.53 ²
	CHCM							1
CRIZA (n=184)	Ht	1	0.45 ²	0.15	0.89 ²	0.48 ²	0.36 ²	-0.22 ²
	RGR		1	0.07	0.43 ²	-0.55 ²	-0.55 ²	-0.05
	RGB			1	0.13	0.07	0.05	-0.04
	Hb				1	0.41 ²	0.49 ²	0.24 ¹
	VCM					1	0.90 ²	-0.13
	HCM						1	0.30 ²
	CHCM							1
BSZB (n=126)	Ht	1	0.69 ²	0.00	0.83 ²	0.40 ¹	0.14	-0.24
	RGR		1	0.23	0.59 ²	-0.38 ¹	-0.43 ¹	-0.16
	RGB			1	-0.07	-0.27	-0.36 ¹	-0.16
	Hb				1	0.33	0.46 ²	0.33
	VCM					1	0.76 ²	-0.07
	HCM						1	0.59 ²
	CHCM							1

¹ p<0.05; ² p<0.01

Ht: Hematocrito; RGR: Recuento de glóbulos rojos; RGB: Recuento de glóbulos blancos, Hb: Hemoglobina; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina corpuscular media; CHCM: Concentración de hemoglobina corpuscular media

Cuadro 2. Comparación de correlaciones entre hemoglobina (Hb) y hematocrito (Ht) en bovinos Brown Swiss (BSZB) criados en baja altitud (243 y 1306 msnm) y bovinos criollos (CRIZA) y Brown Swiss (BSZA) criados en zonas altoandinas (CRIZA, 3213 y 4309 msnm) y en bovinos con “mal de altura” (BSMA)

Comparación	Q-Cohen	n	ES ¹	Límite inferior	Límite superior	Significancia
BSMA vs BSZA	0.211	137	0.09	0.38	0.04	p<0.05
BSMA vs CRIZA	0.316	195	0.07	0.46	0.17	p<0.05
BSMA vs BSZB	0.550	42	0.16	0.86	0.24	p<0.05
BSZA vs CRIZA	0.106	310	0.06	0.22	-0.01	--
BSZA vs BSZB	0.339	157	0.08	0.50	0.18	p<0.05
CRIZA vs BSZB	0.234	215	0.07	0.37	0.10	p<0.05

¹ Error estándar

Estudio Comparativo de Variables Hematológicas

En general se observaron claras diferencias entre los grupos evaluados (Cuadro 4). Los resultados promedios de los bovinos BSZB fueron similares o estuvieron dentro de los rangos reportados como referenciales para bovinos criados en ambientes de baja altitud (Lumsden *et al.*, 1980; Borges *et al.*, 2011; Kessell, 2015), pero algo superiores para los valores de Ht y VCM comparados con muestras de bovinos Jersey criados a 160 msnm (Ocampo, 2004). Por tanto, los valores encontrados serían considerados como normocíticos, normocrómicos y sin policitemia.

Los resultados de RGR, RGB, Ht y Hb en bovinos BSMA fueron mayores que en los otros grupos evaluados (p<0.01). Además, los valores fueron más altos que los reportados por Cuba (2014) para animales con la misma condición sanitaria; sobre todo en Ht, Hb y RGR; observándose claramente la condición de policitemia y de ligera hipocromía,

ello pese a haberse observado un incremento marcado en la concentración de Hb. Sin embargo los valores de VCM y CHCM, aunque más altos que los reportados por Cuba (2014), fueron similares a los observados en BSZB en este estudio, estando ambas características dentro de los rangos considerados como normales para bovinos (Roland *et al.*, 2014; Kessell, 2015).

Los bovinos BSZA y CRIZA tuvieron valores de RGR, Hb, VCM y CHCM dentro de los rangos considerados como normales (Kessell, 2015). No obstante, los valores de Ht y Hb fueron más altos que los observados en animales criados entre 3100 y 3320 msnm (Claxton y Ortiz, 1996; Ocampo, 2004) y menores en RGR y CHCM (Ocampo, 2004), aunque similares a valores promedios observados en animales criados a 4000 msnm (Cuba, 2014). Estos valores son considerados como normocrómicos y normocíticos, sin policitemia, aunque hay animales que presentan valores extremos. En ese sentido, se esperaba que los bovinos criollos, al ser considerados animales adaptados o mejor aclima-

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal simple para hemoglobina (Hb) y hematocrito (Ht) en bovinos Brown Swiss (BSZB) criados en baja altitud (243 y 1306 msnm) y bovinos criollos (CRIZA) y Brown Swiss (BSZA) criados en zonas altoandinas (CRIZA, 3213 y 4309 msnm) y en bovinos con “mal de altura” (BSMA)

Tipo	n	Regresión $Y_i = Ht$ $X_i = Hb (r^2)$	Regresión $Y_i = Hb$ $X_i = Ht (r^2)$
General	353	$Y_i = 3.6345 + 3.2344 * X_i$ (0.8434)	$Y_i = 0.97143 + 0.26092 * X_i$ (0.8434)
BSMA	11	$Y = 3.343 * X_i$ (0.8727)	$Y_i = 0.26483 * X_i$ (0.8727)
BSZA	128	$Y_i = 5.5803 + 3.0369 * X_i$ (0.8189)	$Y_i = 0.6737 + 0.2701 * X_i$ (0.8189)
CRIZA	183	$Y_i = 5.2851 + 3.1056 * X_i$ (0.7965)	$Y_i = 1.23545 + 0.2571 * X_i$ (0.7965)
BSZB	31	$Y_i = 7.0663 + 2.8923 * X_i$ (0.6824)	$Y_i = 0.2396 * X_i$ (0.6824)

tados a ambientes alto andinos, tuvieron valores hematológicos no muy diferentes a los observados en bovinos BSZB, sin embargo, estos fueron similares a bovinos BSZA y fueron más altos que los reportados en bovinos Simien que son considerados como un tipo de bovino europeo adaptado a entornos de gran altitud en Etiopía (Wuletaw *et al.*, 2011), considerando que la altitud promedio en la que se criaron estos animales fue de 3500 msnm.

Varios bovinos BSZA y CRIZA presentaron valores hematológicos dentro de los rangos expresados por bovinos BSMA. Ello motivó la formación de dos subgrupos con animales incluidos en el decil superior, considerando al Ht como patrón de referencia por tener correlaciones altas con Hb y RGR. Los dos subgrupos BSZA y CRIZA con valores

hematológicos extremos (BSZAVE) (CRIZAVE) se compararon con el grupo de bovinos BSMA (Cuadro 5). Los subgrupos mostraron promedios de Ht, RGR y RGB similares entre ellos, pero inferiores a los obtenidos por bovinos BSMA ($p < 0.01$). Los valores de Hb fueron similares entre los tres grupos. Los BSZAVE y CRIZAVE tuvieron valores de VCM, HCM y CHCM similares entre ellos, pero más altos al promedio de los BSMA ($p < 0.01$). Esta condición ubicaría a los dos subgrupos como policitémicos, con ligera hipocromía, pero su VCM indica que sus glóbulos rojos tienen volúmenes mayores a los observados en BSMA. Se podría inferir que los valores hematológicos extremos de este grupo de animales podrían deberse a un efecto de eritropoyesis acelerada, como respuesta ante el estímulo hipóxico (Aguilo, 2001).

Cuadro 4. Valores hematológicos comparativos en bovinos Brown Swiss (BSZB) criados en baja altitud (243 y 1306 msnm) y bovinos criollos (CRIZA) y Brown Swiss (BSZA) criados en zonas altoandinas (CRIZA, 3213 y 4309 msnm) y en bovinos con “mal de altura” (BSMA)

Variable	Referencia ¹	BSMA		CRIZA		BSZA		BSZB	
		n	Prom ± ES (Rango)	n	Prom ± ES (Rango)	n	Prom ± ES (Rango)	n	Prom ± ES (Rango)
Altitud (msnm)		11	3992 ± 55 ^a (3815-4309)	184	3568 ± 14 ^b (3213-4211)	128	3674 ± 31 ^b (3213-4309)	31	860 ± 96 ^c (243-1306)
Ht (%)	24.0 - 46.0	11	59.5 ± 3.0 ^a (40.0-74.4)	183	45.9 ± 0.5 ^b (23.5-60.4)	128	42.5 ± 0.6 ^c (27.7-61.9)	31	35.0 ± 1.2 ^d (25.1-50.0)
RGR (10 ⁶ /μl)	5.0 - 10.0	11	14.5 ± 0.9 ^a (10.2-20.5)	184	8.3 ± 0.1 ^b (3.8-13.5)	128	8.3 ± 0.1 ^b (5.1-12.6)	31	7.2 ± 0.2 ^c (4.7-9.8)
RGB (10 ⁶ /μl)	4.0 - 12.0	11	10.1 ± 1.2 ^a (4.8-17.9)	184	6.8 ± 0.2 ^b (2.3-15.7)	128	6.9 ± 0.2 ^b (3.4-12.9)	31	7.6 ± 0.5 ^b (3.7-15.4)
Hb (g/dl)	8.0 - 15.0	11	15.8 ± 0.9 ^a (10.9 - 19.1)	112	12.9 ± 0.2 ^b (6.7 - 17.0)	125	12.1 ± 0.2 ^c (7.4 - 17.8)	31	9.7 ± 0.4 ^d (6.5 - 14.1)
VCM (fL)	40.0 - 60.0	11	41.3 ± 1.0 ^c (36.3-45.6)	183	57.5 ± 0.9 ^a (29.1-97.6)	128	51.6 ± 0.6 ^b (30.0-82.6)	31	49.1 ± 1.2 ^{bc} (36.0-63.9)
HCM (pg)	11.0 - 17.0	11	10.9 ± 0.3 ^c (9.3-12.3)	112	15.0 ± 0.2 ^a (8.3-24.6)	125	14.8 ± 0.2 ^{ab} (8.7-23.1)	31	13.6 ± 0.4 ^b (9.7-18.0)
CHCM (%)	30.0 - 36.0	11	26.5 ± 0.5 ^b (24.1-30.0)	112	28.5 ± 0.2 ^a (21.6-33.6)	125	28.6 ± 0.2 ^a (23.6-36.1)	31	27.7 ± 0.6 ^{ab} (22.4-37.0)

¹ Kessell (2015)

ES: error estándar

Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas (p<0.01)

Ht: Hematocrito; RGR: Recuento de glóbulos rojos; RGB: Recuento de glóbulos blancos, Hb: Hemoglobina; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina corpuscular media; CHCM: Concentración de hemoglobina corpuscular media

CONCLUSIONES

- Se encontró una alta correlación entre hematocrito (Ht) y hemoglobina (Hb), siendo mayor en bovinos con «mal de altura» (BSMA), lo cual permitió desarrollar ecuaciones lineales para estimarlas.
- No se observaron diferencias hematológicas entre bovinos criollos (CRIZA) y Brown Swiss (BSZA) criados en zonas altoandinas (3213 y 4309 msnm), excepto para el recuento de glóbulos rojos y el volumen corpuscular medio.
- Se observaron amplias variaciones en variables hematológicas en bovinos CRIZA y BSZA, llegando algunos valo-

Cuadro 5. Comparativo entre valores hematológicos bovinos Brown Swiss con “mal de altura” (BSMA) y deciles superiores de bovinos Brown Swiss (BSZAVE) y criollos criados en zonas altoandinas (CRIZAVE)

Característica	BSMA		CRIZAVE		BSZAVE	
	n	Promedio ± ES (Rango)	n	Promedio ± ES (Rango)	n	Promedio ± ES (Rango)
Altitud (msnm)	11	3991 ± 55 ^a (3815–4309)	19	3585 ± 56 ^b (3213–4061)	14	3542 ± 67 ^b (3213–4309)
Ht (%)	11	59.49 ± 3.02 ^a (40.00 - 74.41)	19	55.32 ± 0.62 ^b (51.67 – 60.40)	14	53.85 ± 0.87 ^b (50.21 - 61.85)
RGR (10 ⁶ /μl)	11	14.50 ± 0.86 ^a (10.16 - 20.52)	19	9.62 ± 0.35 ^b (6.91 - 12.63)	14	10.00 ± 0.37 ^b (6.71 - 11.96)
RGB (10 ⁶ /μl)	11	10.06 ± 1.15 ^a (4.83 - 17.90)	19	6.52 ± 0.62 ^b (2.88 - 11.03)	14	6.87 ± 0.58 ^b (3.80 – 10.80)
Hb (g/dl)	11	15.77 ± 0.85 ^a (10.90 - 19.10)	13	15.70 ± 0.24 ^a (14.30 - 17.00)	14	15.31 ± 0.33 ^a (13.30 - 17.80)
VCM (fL)	11	41.27 ± 1.01 ^b (36.26 - 45.58)	19	59.13 ± 2.60 ^a (41.17 – 81.49)	14	54.97 ± 2.57 ^a (42.90 - 82.55)
HCM (pg)	11	10.93 ± 0.29 ^b (9.31 - 12.30)	13	17.20 ± 0.84 ^a (13.26 - 24.62)	14	15.63 ± 0.75 ^a (11.12 - 23.11)
CHCM (%)	11	26.51 ± 0.52 ^b (24.11 - 30.04)	13	28.53 ± 0.51 ^a (24.32 – 30.41)	14	28.43 ± 0.41 ^a (25.92 - 31.27)

ES: error estándar

Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas (p<0.01)

Ht: Hematocrito; RGR: Recuento de glóbulos rojos; RGB: Recuento de glóbulos blancos, Hb: Hemoglobina; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina corpuscular media; CHCM: Concentración de hemoglobina corpuscular media

res a ubicarse dentro de los rangos expresados para bovinos BSMA.

- Valores hematológicos promedio en bovinos BSZA y CRIZA con valores de hematocrito extremos fueron diferentes a los promedios de bovinos BSMA, excepto la concentración de Hb.
- Los valores promedio de glóbulos rojos y blancos y de Ht en bovinos BSMA fueron más altos que los demás grupos, por lo que podrían considerarse como indicadores de susceptibilidad ante condiciones de hipoxia por altitud.

LITERATURA CITADA

1. **Aguiló J. 2001.** Valores hematológicos. *Clín Vet Pequeños Anim* 21: 75-81.
2. **Arregui A, Leon-Velarde F, Monge C. 1990.** Mal de montaña crónico entre mineros de Cerro de Pasco: Evidencias epidemiológicas y fisiológicas. *Rev Med Hered* 1(1). doi: 10.20453/rmh.v1i1.2075
3. **Ayón M, Cueva S. 1998.** Adaptación del ganado bovino a la altura. *Pub. Téc. N.º 38.* Lima, Perú: Univ. Nacional Mayor de San Marcos. 15 p.

4. **Barari SK, Biswas D, Pal RN. 1995.** Normal hemogram of yak (*Bos grunniens*). *J Appl Anim Res* 7: 99-103. doi: 10.1080/09712119.1995.9706056
5. **Bain BJ, Bates I. 2011.** Basic haematological techniques. In: Dacie and Lewis Practical haematology. 11th ed. Edinburgh: Elsevier. p 23-56.
6. **Borges AC, Juliano RS, Barini AC, Lobo JR, Abreu UG, Sereno JR, Fioravanti MC. 2011.** Características hematológicas de bovinos (*Bos taurus*) sadios da raça Pantaneira. *Bol Pesq Desenv* 104. Embrapa Pantanal. Brasil. 13 p.
7. **Claxton JR, Ortiz P. 1996.** Haematological parameters in Brown Swiss and Holstein cattle at high altitude. *Trop Anim Health Pro* 28: 112-116. doi: 10.1007/BF02250734
8. **Cuba A. 2014.** Estudio comparativo del mal de montaña. *An Fac Med* 39: 1104-1127. doi: 10.15381/anales.v39i3.10833
9. **Escalante L. 2017.** Valores hematológicos, bioquímicos sanguíneos y urinarios en crías de alpacas Huacaya (*Vicugna pacos*) menores de dos meses. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Puno, Perú: Univ. Nacional del Altiplano. 81 p.
10. **Foster A, Bidewell C, Barnett J, Sayer R. 2009.** Haematology and biochemistry in alpacas and llamas. In *Practice* 31: 276-281. doi: 10.1136/inpract.31.6.276
11. **Heinicke K, Prommer N, Cajigal J, Viola T, Behn C, Schmidt W. 2003.** Long-term exposure to intermittent hypoxia results in increased hemoglobin mass, reduced plasma volume, and elevated erythropoietin plasma levels in man. *Eur J Appl Physiol* 88: 535-543. doi: 10.1007/s00421-002-0732-z
12. **Holt TN, Callan RJ. 2007.** Pulmonary arterial pressure testing for high mountain disease in cattle. *Vet Clin N Am-Food A* 23: 575-596.
13. **[INEI] Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. 1994.** III Censo Nacional Agropecuario 1994. [Internet]. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/bcoCuadros/IIIcenagro.htm>
14. **[INEI] Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. IV Censo Nacional Agropecuario 2012.** [Internet]. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/?id=Censos Nacionales>
15. **Jefferson JA, Escudero E, Hurtado ME, Pando J, Tapia R, Swenson ER, Prchal J, et al. 2002.** Excessive erythrocytosis, chronic mountain sickness, and serum cobalt levels. *Lancet* 359: 407-408. doi: 10.1016/s0140-6736-(02)07594-3
16. **Kessell A. 2015.** Bovine haematology and biochemistry. In: Cockcroft C (ed). *Bovine medicine*. 3rd ed. Wiley-Blackwell. p 145-159.
17. **Lumsden JH, Mullen K, Rowe R. 1980.** Hematology and biochemistry reference values for female Holstein cattle. *Can J Comp Med* 44: 24-31.
18. **Monge C, Leon-Velarde F. 1991.** Physiological adaptation to high altitude: oxygen transport in mammals and birds. *Physiol Rev* 71: 1135-1172. doi: 10.1152/physrev.1991.71.4.1135
19. **Newman JH, Holt TN, Hedges LK, Womack B, Memon SS, Willers ED, Wheeler L, et al. 2011.** High-altitude pulmonary hypertension in cattle (brisket disease): Candidate genes and gene expression profiling of peripheral blood mononuclear cells. *Pulm Circ* 1: 462-469. doi: 10.4103/2045-8932.93545
20. **Ocampo NR. 2004.** Determinación de valores hematológicos en bovinos Jersey tratados con ketoprofeno y sometidos a condiciones de hipoxia crónica. Tesis de Médico Veterinario. Lima. Perú: Univ. Nacional Mayor de San Marcos. 61 p.
21. **Pulgar-Vidal J. 1987.** Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales. Lima, Perú: Ed. PEISA. 304 p.
22. **Quintó L, John J, Aponte JJ, Menéndez C, Sacarlal J, Aide P, Espasa M, et al. 2006.** Relationship between haemoglobin and haematocrit in the definition of anaemia. *Trop Med Int Health* 11: 1295-1302. doi: 10.1111/j.1365-3156.2006.01679.x

23. **Quispe JE, Apaza E, Chambilla P, Sapana R. 2014.** Índices reproductivos y productivos en un hato de bovinos criollo del altiplano peruano. *Rev Investig Altoandin* 16: 49-56. doi: 10.18271/ria.2014.59
24. **Roland L, Drillich M, Iwersen M. 2014.** Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. *J Vet Diagn Invest* 26: 592-598. doi: 10.1177/10406387145-46490
25. **[SENAMHI] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2019.** Datos hidrometeorológicos. [Internet]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
26. **Sharma A, Kumar P, Singh M, Vasishta NK. 2015.** Haemato-biochemical and endocrine profiling of north western Himalayan Gaddi sheep during various physiological/reproductive phases. *Open Vet J* 5: 103-107.
27. **Tallacagua R, Mamani R. 2017.** Determinación de los parámetros bioquímicos sanguíneos y hematología en llamas (*Lama glama*) en el Altiplano central, La Paz. *Apthapi* 3: 693-701.
28. **Tibbo M, Aragaw K, Abunna F, Woldemeskel M, Deressa A, Lemma M, Rege JEO. 2004.** Factors affecting haematological profiles in three indigenous Ethiopian sheep breeds. *Comp Clin Path* 13: 119-127. doi: 10.1007/s00580-004-0525-3
29. **Turkson P, Ganyo E. 2015.** Relationship between haemoglobin concentration and packed cell volume in cattle blood samples. *Onderstepoort J Vet* 82: 863. doi: 10.4102/ojvr.v82i1.863
30. **Valenzuela H, Baquerizo M, Ramirez I, Pantoja C, Rojas F, Huayre R, Reina J, et al. 2017.** Estudio de la prevalencia del mal de altura en ganado vacuno de la raza Brown Swiss, de la Sierra Central de Perú. *Ciencia y Desarrollo* 20:17-23.
31. **Vogel J, Kiessling I, Heinicke K, Stallmach T, Ossent P, Vogel P, Aulmann M, et al. 2003.** Transgenic mice overexpressing erythropoietin adapt to excessive erythrocytosis by regulating blood viscosity. *Blood* 102: 2278-2284. doi: 10.1182/blood-2003-01-0283
32. **Wuletaw Z, Wurzinger M, Holt T, Dessie T, Sölkner J. 2011.** Assessment of physiological adaptation of indigenous and crossbred cattle to hypoxic environment in Ethiopia. *Livest Sci* 138: 96-104.