

Uso de herramientas diagnósticas para el análisis de gases sanguíneos y electrolitos en corderos de la raza Columbia como método de enseñanza práctica en la asignatura de Bioquímica para médicos veterinarios zootecnistas

Use of diagnostic tools for blood gas and electrolyte analysis in Columbia breed lambs as a practical teaching method in the Biochemistry course for veterinary medicine and animal science students

Recibido: 17 de septiembre de 2024 • **Aprobado:** 13 de octubre de 2024

César Cuenca Verde

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

Eduardo Rico Mejía

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

Héctor Alejandro de la Cruz Cruz

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

Guillermo Reséndiz González

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

Ana Elvia Sánchez Mendoza

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

Jorge Alfredo Cuéllar Ordaz

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

Rosa Isabel Higuera Piedrahita

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Carr. Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 Col. San Sebastián Xhala. Cuautitlán. Estado de México, México, C.P. 54840.

E-mail: rhiguera05@comunidad.unam.mx

Resumen

El estudio e interpretación de los desequilibrios ácido-base permiten al estudiante de medicina veterinaria y zootecnia (MVZ) acercarse a un conocimiento basado en evidencias, lo cual facilita el desarrollo de conflicto cognitivo que a su vez es un recurso fundamental para el diagnóstico y establecimiento de terapias hidroelectrolíticas. Los objetivos de este trabajo fueron demostrar el uso de herramientas diagnósticas para el análisis de gases sanguíneos y electrolitos en corderos de la raza Columbia como método de enseñanza

práctica en la asignatura de Bioquímica para MVZ y explicar desde la enseñanza práctica la ecuación de Henderson–Hasselbach para estudiantes de licenciatura de MVZ. Se utilizaron diez corderos Columbia de cuatro meses de edad, machos y hembras, recolectando muestras sanguíneas a partir de la vena yugular y se evaluaron valores como $t\text{CO}_2$, CO_2 , pH, HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^+ , Mg, P y anión gap. Los electrolitos y el valor de $t\text{CO}_2$ fueron evaluados a través de un equipo de bioquímica sanguínea utilizando el disco para electrolitos, el pH fue determinado a través de un potenciómetro y los demás valores fueron calculados a través de ecuaciones matemáticas. Como resultados se obtuvieron valores comparables con los reportados por la literatura, donde no se observaron diferencias significativas entre machos y hembras, sin embargo, el ejercicio matemático e interpretación de los valores permiten al estudiante obtener valores reales para la realización de cálculos e interpretación con el animal *in situ*. Así mismo, la relación de los mecanismos compensadores y la interpretación del anión gap para establecer posibles desequilibrios ácido-básicos e incluso los parámetros para el establecimiento de una terapia electrolítica.

Palabras clave: Desequilibrios ácido-base, gases sanguíneos, corderos Columbia, ecuación de Henderson–Hasselbach.

Abstract

The study and interpretation of acid-base imbalances allow veterinary medicine and zootechnics (MVZ) students to approach evidence-based knowledge, which facilitates the development of cognitive conflict—a fundamental resource for diagnosing and establishing hydroelectrolytic therapies. The objectives of this work were to demonstrate the use of diagnostic tools for the analysis of blood gases and electrolytes in Columbia lambs as a practical teaching method in the Biochemistry course for MVZ students and to explain, through practical teaching, the Henderson–Hasselbach equation for undergraduate MVZ students. Ten four-month-old Columbia lambs, both males and females, were used. Blood samples were collected from the jugular vein, and values such as $t\text{CO}_2$, CO_2 , pH, HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^+ , Mg, P, and anion gap were evaluated. Electrolytes and $t\text{CO}_2$ values were measured using a blood biochemistry analyzer with an electrolyte disc, pH was determined using a potentiometer, and other values were calculated using mathematical equations. The results were comparable to those reported in the literature, with no significant differences observed between males and females. However, the mathematical exercise and interpretation of the values allow students to obtain accurate values for calculations and interpretation with the animal *in situ*. Additionally, understanding the compensatory mechanisms and interpreting the anion gap helps identify potential acid-base imbalances and even establish parameters for electrolyte therapy.

Keywords: Acid-base imbalances, blood gases, Columbia lambs, Henderson-Hasselbalch equation.

Introducción

Los desequilibrios ácido-base son cruciales en la práctica de la medicina veterinaria, ya que pueden afectar de forma notable la salud y el bienestar general de los animales. Los desórdenes ácido-base resultan de condiciones patológicas como alteraciones renales, respiratorias e incluso metabólicas. Entender los desequilibrios y las

compensaciones permite a los médicos veterinarios diagnosticar y tratar adecuadamente a los animales, mejorando así sus posibilidades de recuperación y calidad de vida (Santarosa et al., 2019). Así mismo, la enseñanza práctica en animales es fundamental para que los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia (MVZ) adquieran las habilidades clínicas esenciales.

La determinación de desequilibrios de pH y de la brecha aniónica en animales es una competencia crítica para los estudiantes de la medicina veterinaria, misma que pueden adquirir a través, de la enseñanza con animales y bajo estrictas normas de bienestar animal, esto permitirá aplicar sus conocimientos teóricos en situaciones reales, mejorando su capacidad para tomar decisiones clínicas informadas y efectivas (Kaae, 2008).

Los desequilibrios en el pH del organismo es un indicador importante del estado ácido-base del organismo y puede revelar la presencia de trastornos metabólicos o respiratorios. La capacidad de medir y analizar estos desequilibrios permite intervenir de manera oportuna y adecuada, previniendo complicaciones graves y mejorando los resultados clínicos (Mioč et al., 2022).

Un desequilibrio ácido-base se refiere a una alteración en el equilibrio normal de ácidos y bases en el organismo, lo que puede afectar el pH de la sangre. Este equilibrio es crucial para el funcionamiento adecuado de las células y los procesos metabólicos. Los desequilibrios pueden ser de dos tipos principales: acidosis, cuando el pH de la sangre es demasiado bajo, y alcalosis, cuando el pH es demasiado alto. Estos pueden ser causados por diversas condiciones, como enfermedades renales, problemas respiratorios o trastornos metabólicos (Santarosa et al., 2019).

Los principales mecanismos compensatorios en animales para corregir estos desequilibrios incluyen respuestas respiratorias y renales. El sistema respiratorio puede ajustar la eliminación de dióxido de carbono (CO_2) a través de la respiración, lo que ayuda a regular el pH de la sangre. Por otro lado, los riñones pueden modificar la excreción de ácidos y la reabsorción de bicarbonato para mantener el equilibrio ácido-base. Estos mecanismos trabajan en conjunto para restaurar el pH a niveles normales y asegurar el funcionamiento óptimo del organismo (Vázquez-Rodríguez, 2022).

Los valores de referencia de gases arteriales en ovinos adultos y corderos son esenciales tanto para la enseñanza como para el diagnóstico clínico. Estudios recientes han determinado parámetros hematológicos y de química sanguínea en ovinos, proporcionando datos cruciales para la evaluación de la salud animal y la identificación de patologías (Herrera-Arias, 2021; Trujillo-Jurado, 2014). Además, se ha desarrollado material de apoyo a la docencia que incluye va-

lores de referencia de exámenes de laboratorio clínico, lo cual es fundamental para la formación de futuros profesionales en MVZ (Trujillo-Jurado, 2014).

El anión gap es una herramienta clínica utilizada para evaluar el equilibrio ácido-base del organismo. Se determina restando la suma de los aniones medidos (cloruro y bicarbonato) de la suma de los cationes medidos (sodio y potasio) en la sangre. Este parámetro es fundamental para detectar la acidosis metabólica, una condición caracterizada por un exceso de ácido en el cuerpo. La acidosis metabólica puede originarse por diversas causas, como, por ejemplo, la insuficiencia renal, cetoacidosis diabética o intoxicación por sustancias como metanol o etilenglicol (Kaae, 2008). La detección temprana de un anión gap elevado es crucial para el diagnóstico y tratamiento oportuno de estas afecciones (Han et al., 2021).

La importancia de diagnosticar la brecha aniónica radica en su capacidad para ofrecer información detallada sobre el estado metabólico del paciente; una elevación puede indicar la presencia de ácidos no medidos en la sangre, lo que permite identificar la causa subyacente de la acidosis metabólica. Además, el seguimiento de este parámetro a lo largo del tiempo permite evaluar la efectividad del tratamiento y la evolución de la condición del paciente (Singh & Kohli, 2010; Trujillo-Jurado, 2014). Por lo tanto, el anión gap es una herramienta esencial en el diagnóstico y manejo de trastornos metabólicos (Kaae, 2008). El valor normal del anión gap en ovinos generalmente se encuentra en el rango de 7 a 14 mEq/L. Es de anotar que existen calculadoras para determinar el anión gap, incluso con albúmina corregida, esta herramienta está disponible en línea (<https://www.rccc.eu/calculadoras/AGAP.html>).

Los objetivos de este trabajo fueron demostrar el uso de herramientas diagnósticas para el análisis de gases sanguíneos y electrolitos en corderos de la raza Columbia como método de enseñanza práctica en la asignatura de Bioquímica para MVZ y explicar desde la enseñanza práctica la ecuación de Henderson-Hasselbach para estudiantes de licenciatura de MVZ.

Materiales y métodos

Corderos de la raza Columbia

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de Méxi-

co posee un rebaño de ovinos raza Columbia, se utiliza para las prácticas de los estudiantes de la licenciatura de MVZ. Los corderos para el presente trabajo se seleccionaron completamente al azar con los siguientes criterios de inclusión: cinco machos y cinco hembras, de cuatro meses de edad, clínicamente sanos. Los corderos se encuentran en la Ciudad de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México a una altura (2312msnm). La alimentación de los corderos se basa en alfalfa achicalada y agua *ad libitum*.

Diseño experimental

Se colectó sangre completa en tubos tapa verde (heparina de litio) de cinco corderos machos y cinco hembras de la raza Columbia. La toma de muestra sanguínea se realizó en la vena yugular, en la mañana, en la sombra y con los corderos después del consumo de alimento. La figura 1 muestra la toma de muestra sanguínea y el procesamiento inmediato en campo.



Figura 1. Toma y procesamiento de muestras sanguíneas en corderos Columbia.

Los corderos fueron evaluados clínicamente, se determinó la condición corporal con promedio de 2.5 – 3.0, coloración de la mucosa ocular de uno (1) según la tarjeta del sistema FAMACHA y peso promedio de 25 kilos.

La muestra de sangre fue procesada inmediatamente en el analizador de bioquímica sanguínea Celercare V (MNChip) utilizando el panel de electrolitos, en donde se obtuvo el valor de tCO_2 , K^+ , Na^+ , K/Na , Cl^- , Ca^{2+} , Mg , P . El pH de la muestra fue obtenido a través de la evaluación por potenciómetro (pHep Hanna).

Al identificar el valor de pH de la muestra se despejó el valor del bicarbonato por medio de la ecuación de Henderson -Hasselbach (Carrillo Esper, 2006):

$$pH = pka + \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- pH es el valor de pH de la muestra sanguínea.
- pKa es el logaritmo negativo de la constante de disociación ácida.
- $[HCO_3^-]$ es la concentración de la base conjugada (bicarbonato en este caso).

- $[CO_2]$ es la concentración de la especie ácida (total de bióxido de carbono en este caso).

La ecuación (1) fue despejada para determinar el bicarbonato de la siguiente forma $[HCO_3^-]$ (2):

$$[HCO_3^-] = 10^{(pH - pKa)} * [CO_2] \dots\dots\dots (2)$$

La cantidad total de dióxido de carbono (tCO_2) se multiplicó por el factor de conversión para obtener la concentración de CO_2 . El tCO_2 representa la suma de todas las formas de dióxido de carbono en una solución, incluyendo CO_2 disuelto, H_2CO_3 y HCO_3^- .

El factor de conversión está sujeto al equilibrio químico entre las diferentes formas de CO_2 en la sangre y puede modificarse según las condiciones específicas. Bajo condiciones normales, el factor de conversión típico es de aproximadamente 0.55. En este caso, el valor de tCO_2 fue multiplicado por el factor de conversión, utilizando la siguiente ecuación:

$$[CO_2] = tCO_2 * \text{factor de conversión (0.55)} \dots\dots\dots (3)$$

Determinación de anión gap

La determinación del anión gap fue hecha siguiendo la ecuación reportada por Kaae, (2008)

de la siguiente forma:

$$\text{Anión gap} = [(Na + K + Ca) - (HCO_3 + Cl)] \dots (4)$$

Análisis estadístico

Las variables obtenidas se analizaron mediante una prueba *t* student para muestras de distribución normal. Para comprobar los supuestos de igualdad de varianzas. La prueba de Kolmo-

gorov Smirnov permitió determinar diferencias significativas ($p < 0.05$). El análisis se realizó en el programa estadístico SAS.

Resultados

En la tabla 1 se muestran los resultados para los 10 ovinos. Dentro de los parámetros evaluados no se encontraron diferencias significativas.

Tabla 1. Variables asociadas al equilibrio ácido base y electrolitos de ovinos de cuatro meses de raza Columbia.

Variable	Método	Varianzas	Grados de libertad	Valor t	Pr> t
pH	Pooled	Equal	8	-0.91	0.3887
HCO ₃	Satterthwaite	Unequal	4.78	-1.41	0.2211
K ⁺	Pooled	Equal	8	-1.21	0.26
Na ⁺	Pooled	Equal	8	-0.77	0.4609
Na/K	Pooled	Equal	8	0.57	0.5871
Cl ⁻	Pooled	Equal	8	1.82	0.1055
Ca ⁺	Pooled	Equal	8	0.11	0.9121
Mg	Pooled	Equal	8	1.12	0.2945
P	Pooled	Equal	8	-0.07	0.9441
Anión gap	Pooled	Equal	8	1.27	0.2403

Para HCO₃ se usó la prueba de satterthwaite porque presentó una varianza desigual, sin embargo, no se encontraron diferencias entre grupos (P)

res de pH, anión gap, tCO₂, bicarbonato y electrolitos entre machos y hembras de la raza Columbia, en donde no se observaron diferencias significativas entre los grupos.

En la tabla 2 se observa la comparación de valo-

Tabla 2. Comparación de valores de pH, anión gap, tCO₂, bicarbonato y electrolitos entre machos y hembras de la raza Columbia de cuatro meses de edad.

Género	Variable	n	Media	Intervalo al 95%	Error	Valores de referencia (mmol/l)
Macho	Ca	5	2.21	2.01-2.40	0.07	2.32-2.92
Hembra		5	2.22	2.07-2.36	0.05	
Macho	Cl	5	99.60	94.22-104.98	1.94	99-113
Hembra		5	103.80	100.35-107.25	1.24	
Macho	CO ₂	5	11.99	10.87-13.11	0.40	
Hembra		5	11.33	10.72-11.94	0.22	
Macho	HCO ₃	5	248.74	229.51-267.96	6.92	
Hembra		5	216.30	155.23-277.38	22.00	
Macho	K	5	5.07	4.80-5.35	0.10	3.8-6.3

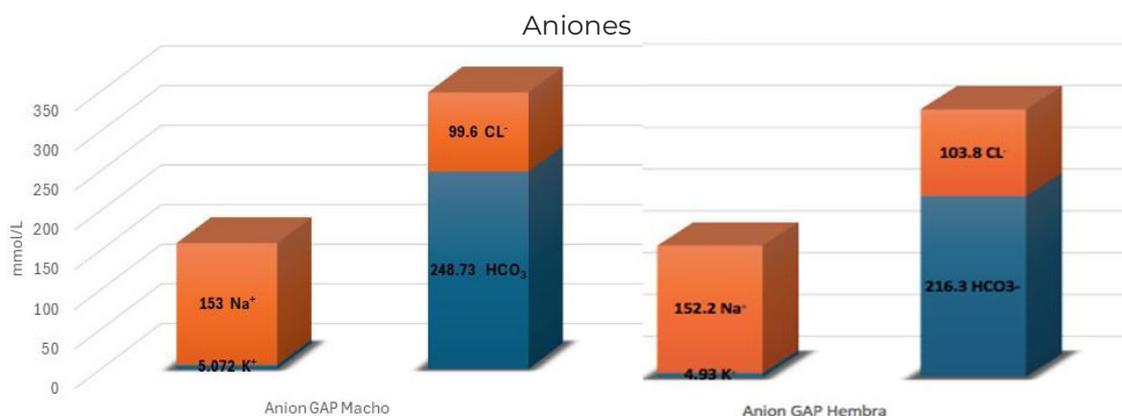
Hembra	K	5	4.93	4.80-5.09	0.06	3.8-6.3
Macho	Na/K	5	30.40	28.73-32.07	0.60	n/a
Hembra		5	30.80	29.76-31.84	0.37	
Macho	Mg	5	0.87	0.81-0.93	0.02	0.82-1.48
Hembra		5	0.90	0.84-0.97	0.02	
Macho	Na	5	153.40	151.14-155.66	0.81	142-159
Hembra		5	152.20	148.54-155.86	1.32	
Macho	Anión	5	-189.90	-37.9	6.81	
Hembra	gap	5	-163.00	-111.5	20.08	
Macho	P	5	2.78	2.20-3.37	0.21	1.29-2.87
Hembra		5	2.76	2.27-3.26	0.18	
Macho	pH	5	7.42	7.36-7.48	0.02	7.35-7.45*
Hembra		5	7.37	7.24-7.50	0.05	
Macho	tCO ₂	5	21.80	19.76-23.84	0.73	20-28
Hembra		5	20.60	19.49-21.71	0.40	

*Valor en la escala de Sorensen.

Los valores de anión gap se muestran en la figura 2. En donde se describen las diferencias entre los valores encontrados entre aniones y

cationes. No se encontraron diferencias significativas entre los valores de machos y hembras de la raza.

Figura 2. Distribución de cationes y aniones en sangre entre machos y hembras de corderos de cuatro meses de edad de raza Columbia.



Discusión

Los valores de gases arteriales obtenidos en este estudio muestran algunas desviaciones significativas en comparación con los rangos de referencia establecidos en la bibliografía. Por ejemplo, el pH de 7.418 y 7.37 se encuentran dentro del rango normal de 7.35 a 7.45, lo que indica un equilibrio ácido-base relativamente estable (Herrera-Arias, 2021). Sin embargo, los valores de dióxido de carbono (CO₂) de 11.99 y 11.33 mmHg están considerablemente por debajo del rango normal de 35 a 45 mmHg, lo que podría sugerir

una hipocapnia, posiblemente debido a una hiperventilación (Herrera-Arias, 2021). En cuanto al bicarbonato (HCO₃), los valores de 248.74 y 216.3 mEq/L son extremadamente altos en comparación con el rango normal de 22 a 26 mEq/L (Carrillo Esper, 2006). Hay que tener en cuenta que el valor del HCO₃ fue determinado a través de cálculos matemáticos y por ende para aplicar la ecuación de Henderson-Hasselbalch.

En el presente trabajo, el despeje de la fórmula permite obtener un valor de HCO₃ de 248.1 mmol/L, al transformarlo a una relación de 20

moléculas de HCO_3^- , se utiliza la relación estándar de 20:1 para HCO_3^- y CO_2 en sangre. Esto significa que por cada 20 moléculas de HCO_3^- , hay 1 molécula de CO_2 . En este entendido, se necesita convertir la concentración de HCO_3^- a una relación molar (5):

$$\frac{12.405 \text{ mmol de CO}_2}{L} = \frac{248.1 \text{ mmol/L}}{20} \dots\dots (5)$$

Al aplicar los valores encontrados a la ecuación de Henderson-Hasselbalch (6):

$$7.4 = 6.1 + \log \frac{248.1 \dots\dots (6)}{12.40}$$

El valor encontrado de pH en la sangre es normal respecto a lo reportado en los valores de referencia.

Es importante anotar que el valor de CO_2 pudo verse ligeramente alterado por la contención del animal y la hiperventilación que presentó al momento de la toma de la muestra, sin embargo, es de anotar que el valor no es significativamente alterado, dado que los mecanismos compensadores son efectivos en milisegundos, permitiendo el restablecimiento de los valores normales.

Otros electrolitos como el K^+ y el Na^+ también presentan valores elevados, con el K^+ en 5.072 y 4.932 mEq/L (rango normal: 3.5-5.0 mEq/L) y el Na^+ en 153.4 y 152.2 mEq/L (rango normal: 135-145 mEq/L) (Santarosa et al., 2019). Estos desequilibrios electrolíticos pueden tener implicaciones importantes para el diagnóstico clínico, ya que niveles elevados de K^+ pueden llevar a arritmias cardíacas, mientras que niveles altos de Na^+ pueden indicar hipernatremia, una condición que puede causar deshidratación y alteraciones neurológicas (Trujillo-Jurado, 2014). Así mismo, estos iones con carga positiva hacen parte de los cationes que pueden verse incrementados en sangre debido al mecanismo de reabsorción renal de cationes en casos de ligeras alcalosis (Kaae, 2008). Esto en el entendido de la disminución del valor de CO_2 encontrada por la sujeción de los corderos, la reabsorción de cationes puede entenderse como un mecanismo compensador inmediato.

En este sentido la hiperventilación es una condición en la que se respira más rápido y profundo de lo normal, lo que provoca una disminución en los niveles de CO_2 en la sangre. Esta disminución de CO_2 lleva a una condición llamada alcalosis respiratoria, donde el pH de la sangre se eleva por encima de lo normal (Carrillo Es-

per, 2006). Los mecanismos compensadores pueden ser descritos de manera general de la siguiente forma:

1. Disminución de la frecuencia respiratoria: puede intentarse la hipoventilación para retener más CO_2 y normalizar el pH
2. Excreción renal de HCO_3^- : Los riñones juegan un papel crucial en la compensación a largo plazo. El riñón puede aumentar la excreción de HCO_3^- y reabsorber iones de H^+ y cationes, así mismo, si se evalúa el pH de la orina, obtener un valor ligeramente básico.
3. Intercambio de iones en las células: A nivel celular, puede haber un intercambio de iones donde los H^+ se mueven fuera de las células y los iones de K^+ se mueven dentro de las células, esto como mecanismo de equilibrio del pH extracelular (Han et al., 2021; Mioč et al., 2022; Santarosa et al., 2019).

Como hallazgo incidental se observó un cordero macho con disminución del valor de fósforo, lo cual se puede atribuir a una demanda creciente particularmente en periodos de crecimiento acelerado, dado que la demanda de este material es muy alta. Así mismo, puede estar asociada a un desequilibrio de minerales, por ejemplo, un exceso de calcio o magnesio en la dieta puede interferir con la absorción de fósforo. Es importante aclarar que fue un solo animal del rebaño, por lo cual, puede ser un caso aislado, dado que los desequilibrios en las formulaciones de dietas se observan en medicina de población, es decir, si fuera el caso se observaría en más de un animal (Han et al., 2021).

Conclusiones

El presente estudio permitió llevar a cabo una demostración teórico-práctica sobre la evaluación de gases sanguíneos, la determinación del pH y la brecha aniónica en corderos Columbia de cuatro meses de edad, destacando los siguientes puntos: El pH sanguíneo normal en ovinos generalmente oscila entre 7.35 y 7.45. Un pH fuera de este rango puede indicar un desequilibrio ácido-base, como acidosis (pH < 7.35) o alcalosis (pH > 7.45). La presión parcial de CO_2 es un indicador de la función respiratoria, los valores elevados de pCO_2 pueden sugerir hipoventilación y acidosis respiratoria, mientras que valores bajos pueden indicar hiperventilación y alcalosis respiratoria. La concentración de HCO_3^- refleja la capacidad del sistema renal para compensar los cambios en el pH. Los valores bajos de HCO_3^- pueden estar asociados con acidosis metabólica, mientras que valores altos pueden indicar alcalosis metabólica. La evaluación e in-

interpretación de los electrolitos para determinar la brecha aniónica permite diagnosticar y establecer una terapia de balance electrolítico adecuado para trastornos metabólicos.

Agradecimientos

Al proyecto PIAPIME denominado: Desarrollo de herramientas pedagógicas para mejorar la comprensión y potenciar el aprendizaje de la bioquímica metabólica en estudiantes de Medicina Veterinaria y Zootecnia, con clave 2.11.23.24.

Referencias

1. Carrillo Esper, R. V. P. P. (2006). Equilibrio ácido base. Conceptos actuales. *Revista de La Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva*, 20(4), 184–192.
2. Han, G., Gao, X., Duan, J., Zhang, H., Zheng, Y., He, J., Huo, N., Pei, C., Li, H., & Gu, S. (2021). Effects of yeasts on rumen bacterial flora, abnormal metabolites, and blood gas in sheep with induced subacute ruminal acidosis. *Animal Feed Science and Technology*, 280, 115042. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115042>
3. Herrera-Arias, L. U.-L. M. (2021). *Determinación de parámetros hematológicos y química sanguínea en ovinos*.
4. Kaae, J. A. de M. H. (2008). Anion gap and strong ion gap: A quick reference. *Veterinary Clinic Small Animal*, 38, 443–447.
5. Mioč, B., Klir Šalavardić, Ž., Širić, I., Držaić, V., Šerić, V., Mandić, S., Novoselec, J., & Antunović, Z. (2022). The changes in the blood's acid-base balance of the lactating sheep during different lactation stages. *Poljoprivreda*, 28(2), 58–65. <https://doi.org/10.18047/poljo.28.2.8>
6. Santarosa, B. P., Dantas, G. N., Ferreira, D. O. L., Carvalho, M. G., Rodrigues, M., Pereira, P. F. V., Silva, A. A., & Gonçalves, R. C. (2019). Comparison of electrolyte and acid-base balances of Dorper breed ewes between single and twin pregnancies. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 39(10), 789–795. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5952>
7. Singh, J., & Kohli, R. N. (2010). Acid-Base Status and Blood Gases in Normal Buffalo Calves (*Bubalis bubalis*). *Zentralblatt Für Veterinärmedizin Reihe A*, 27(4), 343–345. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1980.tb02014.x>
8. Trujillo-Jurado, Carlos Andrés, Dalmau Barros, Ernesto Andrés, Venegas Cortés, Carlos Alberto, & Díaz Rojas, César Augusto. (2014). Valores de referencia de gases arteriales y de electrolitos en caninos de la sabana de Bogotá. *Revista Medicina Veterinaria*, 27, 59–71. Retrieved October 13, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542014000100006
9. Vázquez-Rodríguez, Juan Gustavo, Ortíz-Vargas, Viridiana Abigahil, Díaz-Aguilar, Francisco Alonso, Chablé-Chan, Fabián Guadalupe, Serrano Rodríguez, Juan, & Arredondo-Andrade, Silvia Acened. (2022). Valores de la gasometría arterial en pacientes embarazadas con preclampsia severa. *Ginecología y Obstetricia de México*, 90(8), 639–646. Epub 26 de septiembre de 2022. <https://doi.org/10.24245/gom.v90i8.7796>