

GASES SANGUÍNEOS, ELECTROLITOS Y VARIABLES METABÓLICAS DETERMINANTES DEL ESTADO ÁCIDO-BASE EN CABALLOS CRIOLLOS COLOMBIANOS

C. Jaramillo^{1}, L. M. Ramírez², M. P. Arias², I. D. Álvarez³*

Artículo recibido: 26 de junio de 2015 • Aprobado: 3 de noviembre de 2015

RESUMEN

Se determinaron y compararon los valores de los gases sanguíneos, electrolitos, lactato, hematocrito y estado ácido-base en sangre venosa y arterial de 17 equinos criollos del Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES, para lo cual se utilizó el sistema *Epic Blood Analysis*[®], analizador portátil de sangre que permite obtener resultados de gases, iones y metabolitos. Los resultados arrojados muestran que hay diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) en la glucosa arterial con respecto a la edad y en el lactato venoso con respecto al sexo; además, al comparar la sangre venosa contra la sangre arterial, se hallaron diferencias estadísticas significativas en la presión parcial de oxígeno (pO_2), la presión parcial de CO_2 (PCO_2), la saturación de oxígeno (cSO_2), sodio, calcio ionizado, glucosa, bicarbonato, base exceso sanguínea ($BE_{(b)}$), base exceso extracelular ($BE_{(ecf)}$), PCO_2 y PO_2 corregidas por temperatura. Se concluye que se deben tomar muestras arteriales para realizar valoraciones precisas de los pacientes y que variables, como la pO_2 , la pCO_2 y la $cTCO_2$, dependen en gran medida de la temperatura ambiental, la temperatura del paciente y la altitud, condiciones que modifican las presiones parciales de los gases.

Palabras clave: equinos, gases arteriales, gases venosos, iones, lactato.

COMPARISON OF BLOOD GASES, ELECTROLYTES, AND METABOLIC DETERMINANTS OF ACID-BASE STATUS IN COLOMBIAN CRIOLLO HORSES

ABSTRACT

We determined and compared the values of blood gases, electrolytes, lactate, hematocrit and acid-base status for both arterial and venous blood in seventeen horses from the Veterinary and Zootechnical Center at CES University. We used the *Epic Blood Analysis*[®] portable system, which allows analyzing and obtaining information about gases, ions and metabolites. Our results show that there is a statistically significant difference ($p < 0,05$) in the values of arterial glucose according to the age and in the concentration of venous lactate according to the sex. Likewise, when we compared the values obtained

¹ Grupo de investigación GIVET, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Corporación Universitaria Lasallista. Cr. 51 nro. 118 Sur - 57, Caldas, Antioquia (Colombia).

² Grupo de investigación INCACES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES. Cll. 10A nro. 22 - 40, Medellín, Antioquia (Colombia).

³ Práctica Clínica Privada, cardiología veterinaria, Colombia.

* Autor para correspondencia: cajaramillo@lasallistadocentes.edu.co

from arterial blood with the values obtained from venous blood, we found statistically significant differences in the oxygen partial pressure (pO₂), carbon dioxide partial pressure (pCO₂), oxygen saturation level (cSO₂), sodium, ionized calcium, glucose, bicarbonate, blood base excess (BE_v), extracellular base excess (BE_(ecf)), temperature-corrected PO₂ and pCO₂. Based on these results, we can conclude that we should take arterial blood samples in order to assess accurately the status of the patients and that variables such as oxygen partial pressure, carbon dioxide partial pressure and the oxygen saturation level are largely dependent on the environmental temperature, patient's temperature and altitude; as these conditions modify the gas partial pressures.

Key words: equine, arterial gases, venous gases, ions, lactate.

INTRODUCCIÓN

Los análisis de gases sanguíneos, electrolitos y algunos metabolitos como el lactato son esenciales para conocer los niveles de ventilación y oxigenación, el estado ácido-base, la condición del metabolismo tisular y el balance hidro-electrolítico. En clínica equina, dichos análisis permiten la evaluación de alteraciones cardio-respiratorias y el monitoreo de pacientes críticos o de aquellos que se encuentran bajo condiciones de anestesia complicadas, ya que proporcionan información determinante sobre el estado fisiológico del paciente y, en particular, sobre la hemodinámica tisular (Magdesian 2004; Peiró *et al.* 2010).

El análisis de gases en sangre ofrece información sobre el pH y las concentraciones de bicarbonato, así como el déficit de base, que son otros marcadores del estado de oxigenación de los tejidos. En particular, el análisis de sangre arterial constituye la "prueba de oro" para monitorear la oxigenación y la función pulmonar en pacientes enfermos (Soubani 2001; Wong *et al.* 2011). El análisis de gases sanguíneos puede ser de gran ayuda para el monitoreo de pacientes con compromiso respiratorio, pacientes anestesiados, así como de aquellos con alteraciones en el balance ácido-base y en potros en estado crítico (Shih 2013).

Múltiples enfermedades generan trastornos del estado ácido base en equinos, en especial cuando hay compromiso de la perfusión tisular. El diagnóstico temprano de alteraciones de la hidratación, de las concentraciones de electrolitos y del estado ácido-base, permite una rápida y adecuada intervención clínica y un aumento en las posibilidades de supervivencia de los pacientes (Gómez *et al.* 2013).

La concentración de lactato en sangre es de gran valor predictivo para establecer el pronóstico de pacientes equinos con síndrome abdominal agudo, en neonatos con enfermedades críticas y, en general, en pacientes en estado de hipovolemia e hipoperfusión. En varios estudios se ha encontrado una fuerte correlación entre la morbi-mortalidad y la hiperlactatemia (Corley *et al.* 2005; Tennent-Brown 2011; Tennent-Brown 2012).

Actualmente, se pueden utilizar varios analizadores portátiles comercialmente disponibles para determinar los analitos sanguíneos, los cuales son útiles para evaluar el estado cardio-respiratorio y metabólico de los equinos. Algunos estudios han demostrado una alta correlación entre los valores medidos utilizando analizadores sanguíneos portátiles en diversos entornos clínicos, como en la anestesia, en cuidados intensivos, emergencias y en campo

(Gray *et al.* 1999; Peiró *et al.* 2010; Sands *et al.* 1995).

El analizador portátil *Epoc Blood Analysis*® (Epoc™, Epocal Inc., Ottawa, ON, Canadá) ha sido desarrollado para el monitoreo ambulatorio de gasometría, estado ácido-base, electrolitos, lactato, glicemia y hematocrito. En Colombia, se ha estado utilizando este analizador desde hace algún tiempo en la práctica clínica de la medicina veterinaria equina; sin embargo, no se conocen los valores de referencia normales para el trópico medio a una presión barométrica de 621 mmHG en el Caballo Criollo Colombiano (CCC).

Conocer los valores de referencia de gases sanguíneos, electrolitos y algunos metabolitos en el CCC, que representan indicadores absolutos de salud o enfermedad, constituye una guía valiosa para la toma de decisiones clínicas. El presente estudio pretendió determinar la importancia de diferenciar entre las muestras arteriales y venosas de gases sanguíneos, electrolitos, lactato, variables metabólicas y determinantes del estado ácido-base en el CCC del trópico medio, para su interpretación y establecimiento de comparaciones entre las variaciones de los analitos obtenidos a partir de muestras venosas y arteriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aval del Comité de Ética para la experimentación animal

La realización de las pruebas de campo implicó un riesgo mínimo en la salud para los animales del estudio. Fue aprobado mediante la Resolución N°3 del Comité de Experimentación Animal de la Universidad CES (CICUA).

Tipo de estudio

Estudio observacional transversal no probabilístico.

Población y muestra

Entre una población de 36 caballos, para el presente estudio se tomaron 17 equinos criollos colombianos, clínicamente sanos, con edades comprendidas entre 2 y 14 años, 7 machos y 10 hembras. Se realizó un examen clínico general para asegurar que los animales se encontraran en buen estado de salud y excluir aquellos caballos que pudieran alterar los resultados de la muestra. El número de caballos muestreados se determinó por conveniencia.

Localización

Este estudio se realizó en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES, situado en el municipio de Envigado, departamento de Antioquia (Colombia), a una altura de 1.675 msnm, con una presión barométrica de 621 mmHG, un promedio de temperatura de 21 °C y una humedad relativa ambiental de 59,9%.

Métodos

Previamente a la toma de la muestra de sangre, se realizó desinfección en las áreas del surco yugular y de la arteria facial transversa con Prepodyne®, alcohol y Microdyne®. Las muestras se obtuvieron de la vena yugular y de la arteria facial transversa con una jeringa con heparina de litio y aguja calibre 25. Se tomó la temperatura rectal por dos minutos para introducir esta variable en el equipo y obtener los valores de los gases corregidos por temperatura. Luego, se procedió a la observación del paciente para asegurar

que no se presentaran complicaciones por la punción arterial. Las muestras fueron procesadas inmediatamente con el analizador de campo. De cada jeringa se depositó una gota de sangre en la tarjeta EPOC BGEM, la cual se insertó en el equipo para el análisis inmediato de los niveles de electrolitos, gases sanguíneos y metabolitos.

Las variables medidas fueron: pH, presión parcial de CO_2 (pCO_2), presión parcial de O_2 (pO_2), sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio ionizado (iCa^{++}), glucosa (Glu), lactato (Lac), hematocrito (Hct) y temperatura (T°). Los datos calculados por el equipo fueron: hemoglobina (cHgb), bicarbonato (cHCO_3^-), dióxido de carbono total (cTCO_2), base exceso sanguínea ($\text{BE}_{(b)}$), base exceso extracelular ($\text{BE}_{(\text{ecf})}$) y saturación de oxígeno (cSO_2). El *Epoc Blood Analysis* toma los resultados medidos y los corrige según la temperatura corporal de cada paciente; los datos corregidos según la temperatura fueron: pH (T), pCO_2 (T) y pO_2 (T).

Análisis estadístico

Tanto los parámetros arteriales como los venosos de cada caballo se grabaron en el equipo *Epoc Blood Analysis*® y se registraron luego en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel®. Los datos se analizaron posteriormente mediante el programa Stata® versión 13.0. Se aplicó estadística descriptiva y pruebas *t*-Student para comparar los datos arteriales y venosos.

Para cada una de las variables se calculó la media y la desviación estándar (SD). Se realizó la prueba de ANOVA para comparar edad y sexo contra las demás variables. La significancia estadística se fijó en $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los resultados de esta investigación arrojaron diferencias significativas al comparar las variables medidas en la sangre arterial y venosa; todos los gases sanguíneos mostraron diferencias significativas, así: PO_2 ($p < 0,001$), PCO_2 ($p < 0,001$), cTCO_2 ($p < 0,001$) y cSO_2 ($p < 0,001$). De los electrolitos comparados se encontró diferencia estadística significativa para el Na^+ ($p < 0,001$) y el iCa^{++} ($p < 0,001$). Entre las variables metabólicas la única que mostró diferencia estadística significativa al comprar el resultado de sangre venosa y arterial fue la glucosa ($p < 0,01$); el lactato, el hematocrito y la hemoglobina calculada no mostraron diferencias estadísticas significativas. Respecto de los analitos que determinan el estado ácido-base no se encontró diferencia significativa para el pH, mientras que para cHCO_3^- ($p < 0,001$), $\text{BE}_{(b)}$ ($p < 0,001$) y $\text{BE}_{(\text{ecf})}$ ($p < 0,001$) se encontraron diferencias estadísticas significativas. Para las variables corregidas por temperatura se hallaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,001$) en pCO_2 (T) y en pO_2 (T), no encontrándose diferencia estadística significativa en el pH (T) (Tabla 1).

TABLA 1. Resultados y comparación de las variables evaluadas en sangre arteriosa y venosa en CCC mediante el analizador Epoc™.

Variable	Arterial	Venoso	Min – Max Arterial	Min – Max Venoso	Unidad
Resultados de gases sanguíneos					
pO ₂	77,56 ± 3,476	30,92 ± 4,104*	71,9 – 82,6	24,9 – 40,4	mmHg
pCO ₂	34,22 ± 2,362	41,99 ± 2,831*	29,6 – 38,6	36,2 – 45,8	mmHg
cTCO ₂	25,88 ± 2,402	31,61 ± 1,805*	20,6 – 29,0	28,4 – 35,9	mmHg
cSO ₂	96,12 ± 0,649	60,88 ± 11,24*	95,0 – 96,9	35,4 – 80,3	%
Electrolitos					
Na ⁺	130,3x ± 2,11	134,05 ± 2,10*	127 – 133	131 – 138	mmol/L
K ⁺	4,21 ± 0,377	4,02 ± 0,357	3,5 – 5	3,6 – 4,8	mmol/L
iCa ⁺⁺	1,31 ± 0,125	1,48 ± 0,083*	1,05 – 1,51	133 – 163	mg/dl
Variables metabólicas					
Glucosa	102,3 ± 13,72	91,17 ± 9,18*	75 – 28	77 – 116	mg/dl
Lactato	1,35 ± 0,687	1,21 ± 0,523	0,41 – 2,82	0,57 – 2,24	mmol/L
Hematocrito	31,88 ± 4,833	32,76 ± 3,976	26 – 41	24 – 41	%
cHgb	10,82 ± 1,659	11,04 ± 1,339	8,8 – 13,8	8,2 – 14	g/dl
Estado ácido-base					
pH	7,46 ± 0,036	7,45 ± 0,02	7,33 – 7,50	7,41 – 7,50	
cHCO ₃ ⁻	25,05 ± 1,908	30,48 ± 1,9*	21,0 – 27,8	27,2 – 34	mmol/L
BE _(b)	1,40 ± 2,122	5,92 ± 1,785*	-3,2 – 4,4	3,2 – 8,8	mmol/L
BE _(ecf)	1,28 ± 2,213	6,53 ± 1,972*	-2,7 – 4,5	3,4 – 10,1	mmol/L
Corregidos por temperatura					
pH(T)	7,44 ± 0,018	7,44 ± 0,023	7,40 – 7,48	7,40 – 7,48	
pCO ₂ (T)	36,53 ± 2,096	43,87 ± 3,242*	36,9 – 38,3	36,6 – 51,6	mmHg
pO ₂ (T)	86,51 ± 3,036	30,86 ± 4,703*	80,8 – 89,8	20,9 – 41,7	mmHg

Los datos indican la media ± la desviación estándar entre variables arteriales y venosas.

*Diferencias estadísticamente significativas $p < 0,05$.

Se comparó por ANOVA cada uno de los analitos obtenidos de sangre venosa y arterial con la edad y el sexo, hallándose diferencia estadística significativa para la glucosa arterial con respecto a la edad ($p = 0,03$); para este parámetro se encontró gran variabilidad entre las diferentes edades

(Figura 1), siendo menor y mostrando menos variabilidad en el grupo de caballos de 6 años. Además, se halló diferencia para el lactato venoso con respecto al sexo de los equinos ($p = 0,01$), encontrándose valores menores en los machos que en las hembras (Figura 2).

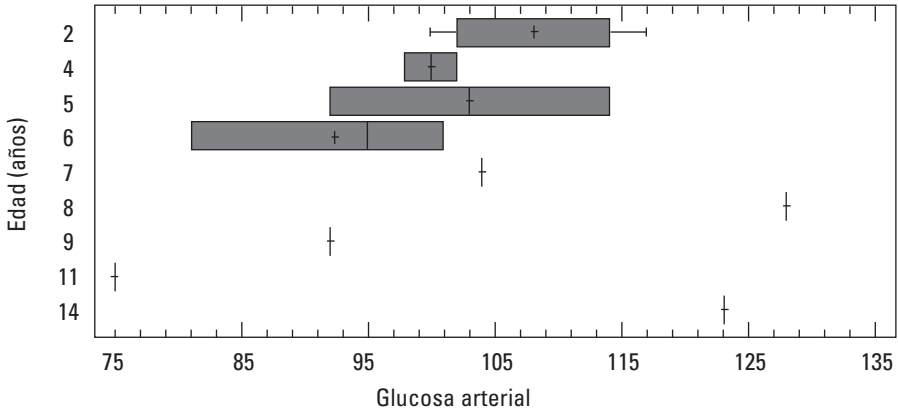


FIGURA 1. Cajas de bigotes en donde se muestran los valores de glucosa arterial según las edades de los caballos muestreados.

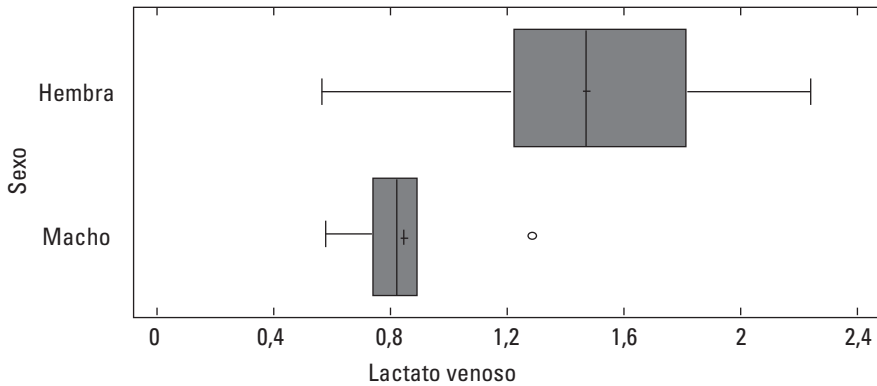


FIGURA 2. Cajas de bigotes en donde se muestran los valores de lactato venoso según el sexo de los caballos muestreados; nótese los valores menores de lactato en machos con respecto a las hembras.

DISCUSIÓN

Las cuantificaciones de las concentraciones de Na^+ , K^+ , calcio ionizado (iCa^{2+}), así como el total de dióxido de carbono (tCO_2) en la sangre y la determinación de pH , PCO_2 , PO_2 , base exceso (BE) y el hematocrito, son útiles como hallazgos clínicos auxiliares para el diagnóstico de varias enfermedades de los animales domésticos (Hodgson *et al.* 2004).

En el CCC, a la altura del trópico medio, no se habían determinado los valores de referencia de gases sanguíneos, electrolitos y metabolitos con un equipo portátil (Epic®), lo que señala la necesidad de realizar aproximaciones a dichos valores de referencia como se hizo en el presente estudio, siendo necesario utilizar un número adecuado de caballos desde el punto de vista estadístico.

Los valores reportados en este estudio son similares a los encontrados en otros estudios y las pequeñas variaciones probablemente se deban a diferencias de altura, temperatura y humedad, además del uso de otros equipos portables como el *i-STAT*® (Navarro *et al.* 2005; Peiró *et al.* 2010).

La pO_2 refleja la capacidad de oxigenación pulmonar y es independiente de la concentración de Hb. Los valores inferiores a 80 mmHg indican hipoxemia y se correlacionan con una cSO_2 menor de 95%. Los valores inferiores a 60 mmHg (cSO_2 de aproximadamente el 90%) indican hipoxemia grave. En este estudio se encontró que los valores de pO_2 y de cSO_2 se encuentran dentro de los referenciados por la literatura internacional; no obstante, se hallaron diferencias estadísticas significativas entre los valores arteriales y venosos derivadas del metabolismo tisular y el transporte de oxígeno en la sangre arterial (Magdesian 2004; Hodgson *et al.* 2014).

La pCO_2 es una medida del estado de ventilación y se determina hipoventilación con valores mayores de 60 a 65 mmHg, lo que puede justificar la ventilación o la estimulación química de la misma; por lo contrario, una hiperventilación severa puede causar alcalosis respiratoria y una reducción en el flujo sanguíneo cerebral. Igualmente, los valores determinados para pCO_2 y cTCO_2 se encuentran dentro de los descritos por la literatura; la diferencia entre los resultados arteriales y venosos se encuentran dentro de lo esperado debido a las rutas metabólicas (Piccione *et al.* 2007).

La medición precisa de la concentración de iCa^{2+} es esencial para la investigación de las enfermedades que alteran la homeostasis del calcio y para la monitorización clínica de estas enfermedades durante su tratamiento; los valores de iCa^{2+} descritos por este estudio concuerdan con los datos para este catión en la literatura. En un estudio realizado en la Sabana de Bogotá, en Colombia, se determinó el valor de este electrolito en sangre venosa equina (151 – 164 mEq/L), siendo los resultados similares a los encontrados en este estudio (Valdés *et al.* 2010). El sodio es el catión más importante del líquido extracelular y es importante en la determinación de las presiones hidrostáticas capilar e intersticial. Hay variación fisiológica de este ion entre las sangres venosa y arterial; sin embargo, esta diferencia no es significativa. Si bien en este estudio se presentó diferencia significativa entre ambos parámetros esto no es relevante clínicamente (Dunlop y Malbert 2007; Snyder y Wendt-Hornickle 2013).

Mantener controlados los niveles de glicemia en los pacientes hospitalizados disminuye su morbilidad. En estudios realizados en seres humanos se ha encontrado que los niveles de glicemia arterial son más altos que los encontrados en ca-

pilares y en venas; en el presente estudio, esta situación también se dio. Los niveles más altos de glucosa en sangre arterial son debidos al metabolismo hepático y al flujo directo de la sangre rica en glucosa hacia el circulación menor y posteriormente a circulación mayor o corporal (Drove *et al.* 2010). El cortisol es una hormona hiperglicemiante, cuestión que debe considerarse debido a la manipulación de los caballos y que pudo haber inducido cambios en los valores medidos para este analito (Nemec *et al.* 2012).

El riñón es el encargado de regular la concentración de bicarbonato plasmático mediante la filtración glomerular. La concentración de bicarbonato provee una información similar a la concentración de base exceso y los cambios en su concentración pueden ser el resultado de procesos metabólicos ocurridos, donde la temperatura juega un papel importante (Piccione *et al.* 2007); lo anterior podría explicar los cambios en las concentraciones de bicarbonato encontradas en la sangre venosa con respecto a la arterial, al igual que el aumento de la base exceso, tanto en la $BE_{(b)}$ como en la $BE_{(ccf)}$ ($p < 0,001$).

El rango de referencia normal para el lactato se encuentra entre 0 y 2 mEq/L; un incremento por encima de este rango indica hiperlactatemia y un valor > 5 mEq/L resulta en un pronóstico desfavorable para el paciente (Constable *et al.* 1998; Gómez *et al.* 2013). En el presente estudio los niveles de lactato se encontraron dentro del rango normal. El análisis de varianza determinó diferencia estadística significativa para los valores de lactato entre sexos, encontrándose menores niveles en los machos que en las hembras; estos resultados se asemejan con lo reportado por un estudio en seres humanos en el que se demostró que el lactato correlaciona

positivamente con los niveles de estrógenos y negativamente con los niveles de testosterona (Shen *et al.* 2012). En ratas a las que se les realizó gonadectomía se determinó disminución en la acción de la piruvato-quinasa (enzima catalizadora de piruvato a lactato); esta aumentó su funcionamiento con la administración de estrógenos, datos que indican que los niveles de lactato se relacionan con los niveles hormonales (andrógenos y estrógenos) entre sexos (Singhal *et al.* 1967).

El análisis de varianza para la glucosa arterial con respecto a la edad, mostró diferencia estadística significativa; sin embargo, dado que los valores de glucosa hallados fueron tan heterogéneos para las diferentes edades, no sería conveniente aseverar que estos cambios se deban a alguna variable específica. Además, los niveles de glucosa son altamente cambiantes por diversos factores (ayuno, dieta, inicio de enfermedad, estrés, deporte, etc.) que no se tuvieron en cuenta en este estudio. La glicemia mostró mayor variabilidad en el grupo de caballos jóvenes, lo cual se puede explicar debido a que la movilización de glucosa es más activa en los caballos jóvenes o en las etapas de crecimiento por cuanto el metabolismo energético es más activo, con el fin de suplir la mayor demanda energética para el crecimiento, adicionalmente a la energía necesaria para cubrir las funciones metabólicas basales (Pulzi *et al.* 2009).

CONCLUSIONES

El sistema *Epoc Blood Analysis*[®] es un analizador portátil de sangre arterial y venosa que permite obtener resultados de gases, iones y metabolitos sanguíneos en sangre arterial y venosa, por lo cual es una valiosa herramienta diagnóstica para los clínicos.

El análisis de gases –en particular, la presión parcial de oxígeno, la presión parcial de dióxido de carbono y la saturación de oxígeno– muestra una variación significativa cuando dichos parámetros se miden con el analizador de campo, ya que estas variables dependen en gran medida de la temperatura ambiental, la temperatura del paciente y la altitud; estas condiciones modifican las presiones parciales de los gases, aunque las variables se midan inmediatamente luego de haber tomado la muestra, lo que conlleva a un margen de error mayor del deseado al momento de la interpretación de los resultados.

Por las diferencias estadísticas significativas encontradas en este estudio, para los análisis entre la sangre venosa y arterial, se deben tomar muestras de sangre arterial para realizar valoraciones precisas del paciente.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran de manera explícita que no desean mostrar ningún resultado diferente de los obtenidos y no poseer conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo colaborador del Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES.

REFERENCIAS

- Constable PD, Hinchcliff KW, Muir WW. 1998. Comparison of anion gap and strong ion gap as predictors of unmeasured strong ion concentration in plasma and serum from horses. *Am. J. Vet. Res.* 59(7): 881-887.
- Constable PD, Tinkler SH, Couëtil LL. 2013. Comparison of two analyzers for measurement of plasma total carbon dioxide concentration in horses. *Am. J. Vet. Res.* 74(8): 1091-1102. Doi: 10.2460/ajvr.74.8.1091.
- Corley KTT, Donaldson LL, Furr MO. 2005. Arterial lactate concentration, hospital survival, sepsis and SIRS in critically ill neonatal foals. *Equine Vet. J.* 37(1): 53-59.
- Drove TT, Pérez MB, Gómez M, Santos M. 2010. Análisis de los valores de glucemia en sangre arterial y venosa frente a sangre capilar. *Nursing.* 24(10): 62-65.
- Dunlop RH, Malbert CH. 2007. Fisiopatología veterinaria. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Gómez DE, Arroyo LG, Stämpfli HR, Cruz LE, Oliver OJ. 2013. Physicochemical interpretation of acid-base abnormalities in 54 adult horses with acute severe colitis and diarrhea. *J. Vet. Intern. Med.* 27(3): 548-553. Doi: 10.1111/jvim.12071.
- Gray TE, Pratt MC, Cusick PK. 1999. Determination of Agreement Between Laboratory Instruments. *Contemp. Top. Lab. Anim.* 38(2): 56-59.
- Hodgson DR, McGowan C, McKeever K. 2014. The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine. 2° ed. St. Louis (MI): Saunders/Elsevier.
- Magdesian KG. 2004. Monitoring the critically ill equine patient. *Vet. Clin. N. Am. Equine. Pract.* 20(1): 11 -39. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cveq.2003.12.001>.
- Navarro M, Monreal L, Segura D, Armengou L, Añor S. 2005. A comparison of traditional and quantitative analysis of acid-base and electrolyte imbalances in horses with gastrointestinal disorders. *J. Vet. Intern. Med.* 19(6): 871-877. Doi: 10.1111/j.1939-1676.2005.tb02780.x.
- Nemec SA, Čebulj-Kadunc N, Frangež R, Kruljč P. 2012. Serum cortisol and haematological, biochemical and antioxidant enzyme variables in horse blood sampled in a slaughterhouse lairage, immediately before stunning and during exsanguination. *Animal.* 6(8): 1300-1306. Doi: 10.1017/S1751731112000079.
- Peiró JR, Borges AS, Gonçalves RC, Mendes LCN. 2010. Evaluation of a portable clinical analyzer for the determination of blood gas partial pressures, electrolyte concentrations, and hematocrit in venous blood samples collected from cattle,

- horses, and sheep. *Am. J. Vet. Res.* 71(5): 515-521. Doi: 10.2460/ajvr.71.5.515.
- Piccione G, Bertolucci C, Grasso F, Guidice E. 2007. Changes in gas composition and acid-base values of venous blood samples stored under different conditions in 4 domestic species. *Vet. Clin. Path.* 36(4): 358-360. Doi: 10.1111/j.1939-165X.2007.tb00441.x.
- Pulzi JSA, Assunção MSC, Mazza BF, Fernandes HdaS, Jackiu M, Freitas FGR, Machado FR. 2009. Accuracy of different methods for blood glucose measurement in critically ill patients. *Sao Paulo Med. J.* 127(5): 259-265. 10.1590/S1516-31802009000500003.
- Sands VM, Auerbach PS, Birnbaum J, Green M. 1995. Evaluation of a portable clinical blood analyzer in the emergency department. *Acad. Emerg. Med.* 2(3): 172-178. Doi: 10.1111/j.1553-2712.1995.tb03190.x.
- Shen Y, Liu F, Li Q, Tang J, Zheng T, Lu F, Lu H, Jia W. 2012. The Gonadal Hormone Regulates the Plasma Lactate Levels in Type 2 Diabetes Treated With and Without Metformin. *Diabetes Technol. Ther.* 14(6): 469-474. Doi: 10.1089/dia.2011.0275.
- Shih A. 2013. Cardiac output monitoring in horses. *Vet. Clin. N. Am. Equine.* 29(1): 155-167. Doi:10.1016/j.cveq.2012.11.002.
- Singhal RL, Valadares JR, Ling GM. 1967. Metabolic control mechanisms in mammalian systems. I. Hormonal induction of phosphofructokinase in the rat uterus. *J. Biol. Chem.* 242(11): 2593-2598.
- Snyder LBC, Wendt-Hornickle E. 2013. General anesthesia in horses on fluid and electrolyte therapy. *Vet. Clin. N. Am. Equine.* 29(1): 169-178. Doi:10.1016/j.cveq.2012.11.009.
- Soubani AO. 2001. Noninvasive monitoring of oxygen and carbon dioxide. *Am. J. Emerg. Med.* 19(2): 141-146. Doi:10.1053/ajem.2001.21353.
- Tennent-Brown BS. 2011. Lactate production and measurement in critically ill horses. *Compend Contin Educ Vet (Yardley, PA).* 33(12): E5.
- Tennent-Brown BS. 2012. Interpreting lactate measurement in critically ill horses: diagnosis, treatment, and prognosis. *Compend. Contin. Educ. Vet.* 34(1): E2.
- Valdés RC, Restrepo JM, Triana JV, Mendoza SG, Mutis CA, Galindo CA. 2010. Determinación de los valores fisiológicos del sodio, el potasio y el ion calcio en plasma, con su variación pre y postejercicio, en caballos de paso fino en la sabana de Bogotá. *Rev. Med. Vet.* 20: 71-80.
- Wong DM, Alcott CJ, Wang C, Bornkamp JL, Young JL, Sponseller BA. 2011. Agreement between arterial partial pressure of carbon dioxide and saturation of hemoglobin with oxygen values obtained by direct arterial blood measurements versus noninvasive methods in conscious healthy and ill foals. *JAVMA.* 239(10): 1341-1347.

Article citation:

Jaramillo C, Ramírez LM, Arias MP, Álvarez ID. Gases sanguíneos, electrolitos y variables metabólicas determinantes del estado ácido-base en caballos criollos colombianos [Comparison of blood gases, electrolytes, and metabolic determinants of acid-base status in colombian criollo horses]. *Rev Med Vet Zoot.* 63(1): 20-29.
Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rfmvz.v63n1.56900>.