

2023-06-22

Indicadores de pronóstico para la supervivencia de potros neonatos hospitalizados en la Sabana de Bogotá: análisis de gases sanguíneos, electrolitos y metabolitos

Claudia María Daza Medina

Universidad de La Salle, Bogotá, cladaza22@gmail.com

Martha Susana Franco Ayala

Centro de Perinatología Equina Foal Care, susanafrancovet@hotmail.com

David Alexander Martínez Rodríguez

Universidad de Auburn, dam0046@auburn.edu

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/mv>



Part of the [Agriculture Commons](#), [Animal Sciences Commons](#), and the [Veterinary Medicine Commons](#)

Citación recomendada

Daza Medina CM, Franco Ayala MS y Martínez Rodríguez DA. Indicadores de pronóstico para la supervivencia de potros neonatos hospitalizados en la Sabana de Bogotá: análisis de gases sanguíneos, electrolitos y metabolitos. Rev Med Vet. 2023;(47):. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss47.6>

This Artículo de investigación is brought to you for free and open access by the Revistas científicas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Revista de Medicina Veterinaria by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Indicadores de pronóstico para la supervivencia de potros neonatos hospitalizados en la Sabana de Bogotá: análisis de gases sanguíneos, electrolitos y metabolitos*

Claudia María Daza Medina¹ / Martha Susana Franco Ayala² /
David Alexander Martínez Rodríguez³

Resumen

Los potros neonatos son susceptibles a enfermedades potencialmente mortales. Por tanto, es importante identificar marcadores que permitan predecir la supervivencia de estos pacientes, e iniciar el tratamiento adecuado para cada caso. Este estudio fue realizado en el Centro de Perinatología Equina Foal Care ubicado en Cajicá, Cundinamarca. Se revisaron y analizaron las historias clínicas de 106 potros que ingresaron a hospitalización entre septiembre de 2019 y diciembre de 2020, para evaluar el valor predictivo de los parámetros de gases sanguíneos y electrolitos frente a la supervivencia de potros neonatos hospitalizados. Se utilizaron diferentes pruebas estadísticas como la prueba de Kolmogorov Smirnov, U de Mann-Whitney, regresión logística binaria, pruebas de chi cuadrado, *odds ratio* y análisis de la curva de características del operador del receptor (ROC). Se observó que el desorden ácido-básico más común al ingreso a hospitalización fue la acidosis metabólica (37/106), y el desequilibrio electrolítico más frecuente fue la hipocalcemia (89/106). La variable más significativamente relacionada con la supervivencia fue el pH $\geq 7,35$ ($p = 0,007$; OR = 0,288; IC = 95 %, 0,117-0,706). Los factores de riesgo asociados con la no supervivencia de los potros fueron pH < 7,35, lactato > 4,5 y glucosa < 119,5 mg/dl.

Palabras clave: potro; neonato; supervivencia; gases sanguíneos; electrolitos; metabolitos.

* Artículo de investigación.

1 Médica veterinaria zootecnista. Candidata a magister en Ciencias Veterinarias de la Universidad de La Salle.

✉ cladaza22@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-7306-2796>

2 Médica veterinaria. Magister en Salud Animal, candidata a doctora en Salud Animal de la Universidad Nacional de Colombia. Directora y fundadora del Centro de Perinatología Equina Foal Care.

✉ susanafrancovet@hotmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-5261-4694>

3 Médico veterinario. Magister en Fisiología, candidato a doctor en Ciencias Biomédicas de la Universidad de Auburn.

✉ dam0046@auburn.edu

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0071-0737>

Cómo citar este artículo: Daza Medina CM, Franco Ayala MS, Martínez Rodríguez DA. Indicadores de pronóstico para la supervivencia de potros neonatos hospitalizados en la Sabana de Bogotá: análisis de gases sanguíneos, electrolitos y metabolitos. Rev Med Vet. 2023;(47): e1461. Disponible en: <http://doi.org/10.19052/mv.voll.iss47.6>

Prognostic Indicators for the Survival of Neonatal Foals Hospitalized in the Savannah of Bogota: Analysis of Blood Gases, Electrolytes and Metabolites

Abstract

Newborn foals are susceptible to life-threatening diseases. Therefore, it is important to identify markers that make it possible to predict the survival of these patients, and to initiate the appropriate treatment for each case. This study was conducted at the Foal Care Equine Perinatology Center located in Cajicá, Cundinamarca. The medical records of 106 foals admitted to hospitalization between September 2019 and December 2020 were reviewed and analyzed to assess the predictive value of blood gas and electrolyte

parameters against the survival of hospitalized neonatal foals. Different statistical tests were used, such as the Kolmogorov Smirnov test, Mann-Whitney U test, binary logistic regression, chi-square tests, odds ratio, and receiver operator characteristic (ROC) curve analysis. It was observed that the most common acid-base disorder upon admission to hospitalization was metabolic acidosis (37/106), and the most frequent electrolyte imbalance was hypocalcemia (89/106). The variable most significantly related to survival was pH > 7.35 ($p = 0.007$; OR = 0.288; CI = 95%, 0.117-0.706). The risk factors associated with non-survival of the foals were pH < 7.35, lactate > 4.5, and glucose < 119.5 mg/dl.

Keywords: foal; neonate; survival; blood gases; electrolytes; metabolites.

INTRODUCCIÓN

El período neonatal es una de las fases más complicadas del sistema de producción equina (1). En ella, el organismo debe adaptarse fisiológica y metabólicamente, a medida que se enfrenta a las condiciones extrauterinas (2, 3, 4, 5, 6). Esta capacidad de adaptación es fundamental para la supervivencia de los potros (7), debido a que durante sus primeros días de vida son muy susceptibles a enfermedades potencialmente mortales (8). Dichas dolencias están a su vez relacionadas con diferentes síndromes y anomalías cardiovasculares, pulmonares y metabólicas, y alteraciones en su termorregulación (2, 6).

La incidencia de enfermedad temprana puede tener implicaciones a largo plazo. Se han reportado tasas de mortalidad para los potros neonatos ingresados en unidades de cuidados intensivos que oscilan entre el 20 y el 50 % (8, 10). Por consiguiente, identificar variables útiles para predecir la supervivencia es de gran importancia, dado que permite determinar los cuidados más adecuados para brindar bienestar a los pacientes (11). Además, aquello facilita el proceso de toma de decisiones tanto para el profesional como para el propietario del animal, frente a una utilización racional de los recursos diagnósticos y terapéuticos, especialmente en pacientes con mayor riesgo de muerte (12, 13).

Mediante la evaluación hematológica, bioquímica y de gases sanguíneos, los médicos veterinarios pueden establecer la gravedad de la enfermedad, identificar el patógeno, e incluso estimar el pronóstico del paciente al ingresar a hospitalización (14, 15, 16, 17). En tanto, en diferentes estudios se han desarrollado modelos de regresión para determinar qué variables funcionan como marcadores de predicción de supervivencia en equinos neonatos hospitalizados (8, 14, 18).

Cabe considerar que para reducir la mortalidad neonatal es absolutamente fundamental el conocimiento de la fisiología, con el fin de reconocer y evaluar correctamente a un potro enfermo, de modo que se identifiquen

las condiciones predisponentes —antes o después del nacimiento— que puedan poner al paciente en categoría de alto riesgo, y se logre instaurar rápidamente el tratamiento adecuado para cada caso (19, 15, 20). En ese sentido, el análisis de gases en la sangre se ha convertido en una herramienta útil para la detección temprana de potros críticamente enfermos (21). De tal forma, aquello proporciona información valiosa sobre el estado metabólico, así como de la capacidad del paciente para oxigenar y ventilar, además de evaluar su estado ácido-base (16, 22, 23).

En la práctica de campo y en algunos hospitales, el uso de analizadores portátiles tiene un papel cada vez más importante en el manejo de enfermedades críticas, ya que estos proveen resultados inmediatos; con ellos, el clínico puede orientar el diagnóstico prontamente (24, 25).

En tanto, los parámetros básicos de equilibrio ácido-base como el pH sanguíneo, la concentración de bicarbonato (HCO_3^-), y la presión de dióxido de carbono (pCO_2) y oxígeno (PaO) (16), se utilizan para diagnosticar trastornos metabólicos (la acidosis y la alcalosis metabólicas), los trastornos respiratorios (la acidosis respiratoria y la alcalosis), las enfermedades del sistema digestivo (las enfermedades hepáticas, la diarrea) y las enfermedades del sistema circulatorio en personas y animales (26). Asimismo, los desequilibrios ácido-base, tanto en pacientes pediátricos humanos como en potros, están asociados con el diagnóstico y el pronóstico (19); por consiguiente, estos se han descrito como grandes ayudas al momento de predecir la supervivencia del paciente crítico (27).

El presente estudio tuvo el objetivo de evaluar el valor predictivo de los parámetros obtenidos con la medición de gases sanguíneos, electrolitos y metabolitos, frente a la supervivencia de potros neonatos hospitalizados en un centro clínico de referencia. Asimismo, se propuso identificar cuáles de estas variables funcionan como marcadores tempranos de supervivencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y criterios de inclusión

El presente estudio retrospectivo, transversal y observacional, se realizó con los datos consignados en la historia clínica de 106 potros neonatos hospitalizados, que ingresaron entre septiembre de 2019 y diciembre de 2020 al Centro de Perinatología Equina Foal Care, ubicado en el municipio de Cajicá, Cundinamarca. Los criterios de inclusión establecidos para este estudio fueron que se tratara de pacientes equinos neonatos (desde recién nacidos hasta los 30 días de edad), de cualquier edad gestacional y cualquier sexo, de los cuales se hayan obtenido análisis de gases en la sangre antes de recibir cualquier tratamiento al ingresar a hospitalización dentro de las fechas establecidas. Los animales se clasificaron en 2 grupos según el resultado (potros supervivientes y no supervivientes). El grupo de potros supervivientes hace referencia a los potros dados de alta del hospital; en tanto, en el grupo de potros no supervivientes se incluyeron los que murieron durante la hospitalización, y los que fueron sometidos a eutanasia debido a un mal pronóstico.

Toma de muestras y análisis de laboratorio

Se le realizó un examen clínico general a cada paciente al ingreso al centro de perinatología. A continuación, a cada uno se le tomó una muestra de sangre venosa de la vena yugular con una jeringa de insulina heparinizada, y esta se procesó inmediatamente en el analizador portátil de gases sanguíneos y electrolitos EPOC*. Cabe señalar que este dispositivo fue desarrollado para el monitoreo ambulatorio de la gasometría, el estado ácido-base, los electrolitos, el lactato, la glicemia y el hematocrito, siendo de gran utilidad en diversos entornos clínicos, como en la anestesia, los cuidados intensivos, las emergencias y la atención en campo. Su precisión ha sido aceptada en estudios realizados en caninos (47),

equinos (48, 49), bovinos, ovinos (50), alpacas y llamas (51). De tal modo, en Colombia se ha estado utilizando desde hace algún tiempo en la práctica clínica de la medicina veterinaria equina (25, 49, 52). El muestreo venoso fue decidido por el médico tratante. En tanto, los parámetros de gasometría y ácido-base se corrigieron según la temperatura, y se determinaron con el mismo dispositivo durante todo el estudio.

Información clínica

Se evaluaron diferentes variables: análisis de gases sanguíneos (pH, $p\text{CO}_2$, cHCO_3^- , BE(ecf)), electrolitos (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^-) y metabolitos (glucosa y lactato). Asimismo, se tomó como variable la respuesta a la supervivencia (vivió, murió) de cada potro. En tanto, los valores de AGap, AGapK y SID se calcularon en función de las variables mencionadas anteriormente. Los valores calculados arrojados por el analizador portátil se corroboraron con las ecuaciones descritas en los modelos de Henderson Hasselbalch y Stewart.

Tabla 1. Fórmulas para parámetros calculados

Variable	Fórmula
Intervalo aniónico	$\text{AGap} = (\text{Na}^+) - (\text{Cl}^- + \text{cHCO}_3^-)$
Intervalo aniónico, K	$\text{AGapK} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{cHCO}_3^-)$
Diferencia de iones fuertes medidos (SIDm)	$\text{SIDm} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{Lactato})$

* Tabla adaptada de Rehm y colaboradores, 2004 (28), Viu y colaboradores, 2010 (19), Gomez y colaboradores, 2013 (29)

Fuente: elaboración propia

Interpretación de los trastornos del equilibrio ácido-base

Los valores de gases sanguíneos fueron comparados con los valores normales en potros reportados en la literatura (tabla 2).

Tabla 2. Valores de referencia para el análisis de parámetros de gases sanguíneos

Valores de referencia		Referencia
pH	7,4 (7,35–7,45)	(19)
cHCO ₃ ⁻	30 (28–32)	(30)
PCO ₂	45,8 (43–48,6)	(30)
BE	-2–+2 mmol/L	(6)
AGap	6–15 mEq/L	(31)
SID	31,4–47 mEq/L	(32)

Fuente: elaboración propia

En tanto, los valores del lactato se compararon con los rangos establecidos según la edad del paciente.

Tabla 3. Valores de referencia para el análisis del lactato

Edad	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	> ^a
Lactato (mmol/L)	2,1 (0,5–14)	1,6 (0,4–10,4)	1,3 (0,3–7,7)	1,4 (0,5–5,7)	1,5 (0,4–4,9)	< 2 ^a

* Tabla adaptada de Neil, 2008 (33)^a, y Borchers y colaboradores, 2012 (34)

Fuente: elaboración propia

Por su parte, los valores de electrolitos se evaluaron en dos grupos. Los neonatos recién nacidos y con edades hasta los siete días de edad se evaluaron con los valores de referencia para neonatos de un día, presentados en la siguiente tabla. Los demás potros (de ocho a treinta días de edad) se evaluaron con los valores de referencia establecidos para neonatos de un mes.

Tabla 4. Valores de referencia para el análisis de electrolitos

Valores de referencia (mmol/L)				
Edad del neonato	Sodio	Potasio	Cloro	Calcio ionizado
1 día	123–159	3,6–5,6	90–114	1,47–1,64
1 mes	136–154	3,8–5,4	97–109	

* Tabla adaptada de Southwood, 2012 (35), y Berlin y Aroch, 2009 (36)

Fuente: elaboración propia

Mientras tanto, los desequilibrios ácido básicos fueron clasificados mediante el método de Henderson-Hasselbalch, como se evidencia en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de las alteraciones ácido-base mediante el método de Henderson-Hasselbalch

Alteración ácido-base	pH	Desbalance primario	Respuesta compensatoria
Acidosis metabólica	↓	↓ HCO ₃ ⁻ ↓ BE _{ECF}	↓ PCO ₂
Acidosis respiratoria	↓	↑ PCO ₂	↑ HCO ₃ ⁻
Alcalosis metabólica	↑	↑ HCO ₃ ⁻ ↑ BE _{ECF}	↑ PCO ₂
Alcalosis respiratoria	↑	↓ PCO ₂	↓ HCO ₃ ⁻

* Tabla adaptada de Smith, 2010 (31)

Fuente: elaboración propia

Análisis estadístico

La normalidad de los datos se probó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. En este caso, como $p < 0,05$, se rechaza la hipótesis nula de manera significativa, y se concluye que los datos no tienen una distribución normal; por consiguiente, se utilizaron pruebas no paramétricas para el análisis de datos. En tanto, las diferencias entre los grupos de potros supervivientes y no supervivientes se evaluaron mediante la prueba de Mann-Whitney. Por su parte, la relación existente entre las diferentes variables y el resultado (supervivencia) se determinó por medio de regresión logística por pasos hacia adelante. Se realizaron pruebas de chi cuadrado, para establecer cuáles de las variables cualitativas estaban relacionadas significativamente con la supervivencia de los pacientes. Además, se utilizó el análisis de la curva de características del operador del receptor (ROC) para identificar el punto de corte en el cual se optimizaban la sensibilidad y la especificidad diagnóstica de las variables, para predecir la supervivencia. Los resultados se presentarán como áreas bajo la curva ROC, así como el intervalo de confianza (IC) del 95 %. Por su parte, los valores de corte óptimos se

definieron según los puntos que representaban la mayor sensibilidad y especificidad concomitantes. Finalmente, se calcularon la *odds ratio* y el riesgo relativo de las variables que fueron estadísticamente diferentes entre grupos. Todos los datos fueron analizados con el software estadístico IBM SPSS y con MedCalc Software Ltd. Diagnostic Test Evaluation Calculator.

RESULTADOS

Población del estudio

Se estudiaron 106 potros neonatos (desde recién nacidos hasta de 30 días de edad), 49 machos y 57 hembras. Los principales diagnósticos y motivos de ingreso a hospitalización incluyeron la adaptación perinatal (prematurez, dismadurez, mal ajuste neonatal, atete y falla en la transferencia de inmunoglobulinas), la artritis séptica, la diarrea, la dificultad respiratoria, la colitis, la aspiración de meconio, la disbiosis, la impactación por meconio, la onfalitis, las hernias, el síndrome abdominal agudo y la sepsis. En total, 78 potros fueron dados de alta (73,6 %) y 28 murieron (26,4 %); en tanto, 4 de los potros que no sobrevivieron fueron sometidos a eutanasia, debido a mal pronóstico. Todas las muestras de los potros de control correspondieron a sangre venosa, y fueron comparadas con valores de referencia relativos al mismo tipo de muestra.

Hallazgos en el análisis de gases sanguíneos, electrolitos y variables ácido-base

Los valores de ingreso de gases sanguíneos, electrolitos y variables ácido-base de los potros incluidos en el

estudio fueron divididos según su resultado (supervivencia) en dos grupos (murió / vivió) (tabla 6).

Desequilibrios ácido-base en potros hospitalizados

El desorden ácido-básico más común al ingreso a hospitalización fue la acidosis metabólica, tanto en el grupo de potros supervivientes como en los no supervivientes. Un 29,49 % de los pacientes que fueron dados de alta presentaban esta alteración ácido-base, al igual que un 50 % de los pacientes que murieron (figura 1). Hubo además alteraciones en el pH sanguíneo en 44 de los 106 potros; se detectó acidemia en 42 de los 44, y los 2 restantes tenían alcalemia leve.

Desequilibrios electrolíticos

El desequilibrio electrolítico más frecuente en ambos grupos fue la hipocalcemia, con el 83,96 %, seguido por la hipokalemia, con el 50 %. Por su parte, en el grupo de los pacientes que fueron dados de alta, un 87 % presentó hipocalcemia al ingreso al hospital, al igual que el 75 % de los pacientes que murieron durante la hospitalización (figura 2).

Alteraciones de los metabolitos en potros hospitalizados

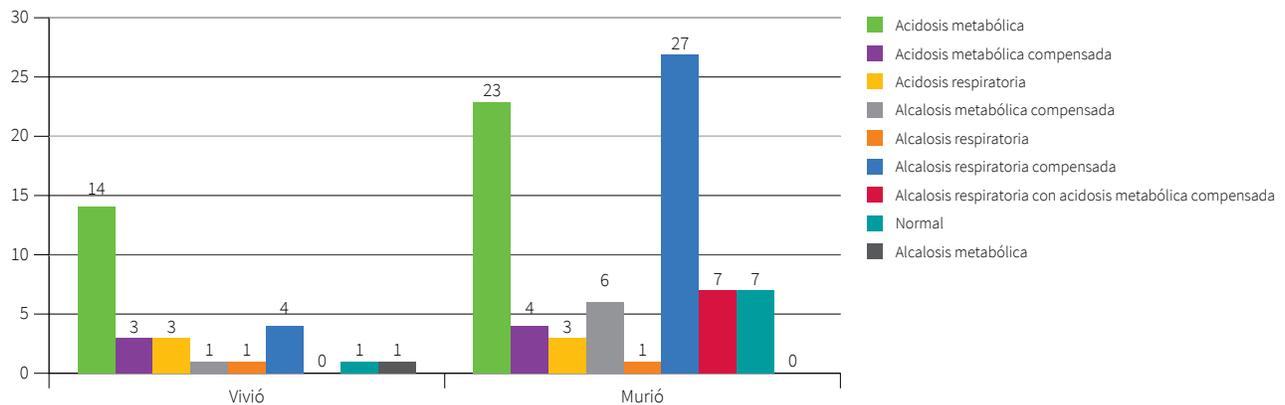
De los 106 potros que ingresaron a hospitalización en este estudio, el 62,26 % presentaba hiperglicemia, 16,04 % hipoglicemia, y el 21,7 % tenía concentraciones de glucosa en la sangre en el rango normal. De los 66 potros con hiperglicemia, solo 11 murieron (16,66 %), mientras que de los 17 potros con hipoglicemia, 9 murieron (52,94 %) (figura 3).

Tabla 6. Valores venosos al ingreso de gases sanguíneos, electrolitos y variables ácido-base de los 106 potros divididos según el resultado (supervivencia)

Variable	Media		95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo		Máximo	
	Murió	Vivió	Intervalo murió	Intervalo vivió	Murió	Vivió	Murió	Vivió
Ph	7,2832	7,3543	7,2374–7,3289	7,3386–7,3700	6,99	7,14	7,46	7,49
pCO ₂	47,689	44,285	42,280–53,099	42,449–46,120	12,4	21,2	89,6	71,5
cHCO ₃	23,071	24,545	20,612–25,531	23,504–25,586	3,0	9,6	31,7	38,4
BEecf	-3,6357	-,7397	-6,6233–0,6481	-1,9444–0,4649	-28,70	-18,40	7,70	13,50
Na	137,25	136,46	133,54–140,96	134,87–138,06	110	114	153	152
K	3,6571	3,5808	3,2924–4,0219	3,4309–3,7307	1,50	2,10	5,80	5,80
Ca	1,1496	1,2460	1,0000–1,2992	1,1922–1,2997	0,27	0,57	1,66	1,85
Cl	103,75	100,77	99,83–107,67	99,68–101,86	87	81	136	111
cTCO ₂	24,6143	25,8408	22,1090–27,1196	24,7634–26,9182	5,00	10,30	33,60	40,30
AGap	10,43	11,15	9,10–11,76	10,09–12,22	5	1	18	32
AGapk	14,07	14,90	12,64–15,50	13,83–15,96	9	4	22	38
Glucosa	143,57	162,17	95,51–191,64	144,69–179,64	31	44	586	411
Lactato	6,0904	4,9004	4,7723–7,4084	3,9906–5,8103	1,66	1,11	12,58	19,73
SID	31,0668	34,3726	28,5148–33,6188	33,0649–35,6804	17,57	19,07	42,85	52,52

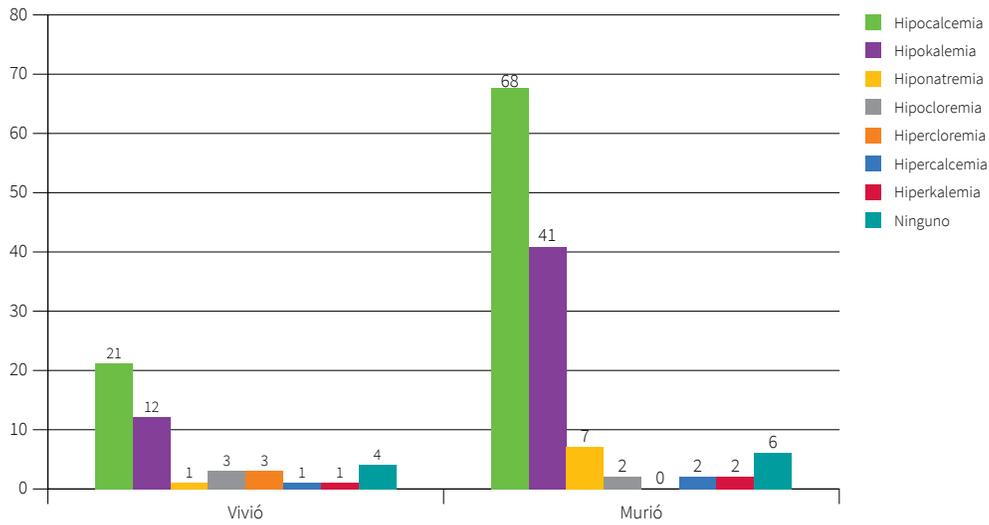
Fuente: elaboración propia

Figura 1. Desequilibrios ácido-base en potros hospitalizados



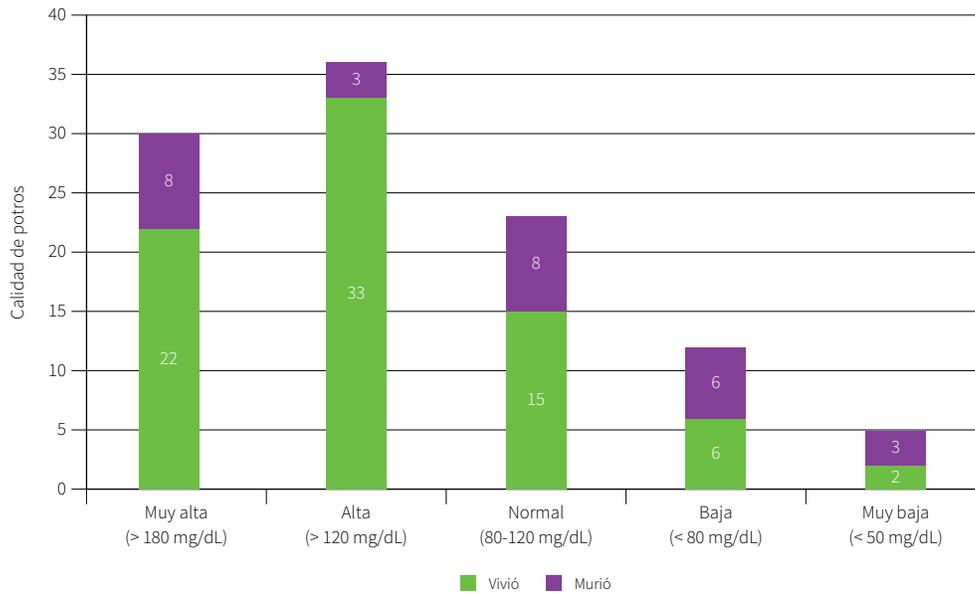
Fuente: elaboración propia

Figura 2. Desequilibrios electrolíticos en potros hospitalizados



Fuente: elaboración propia

Figura 3. Concentración de glucosa al ingreso a hospitalización



Fuente: elaboración propia

En cuanto al lactato, 92 de los 106 potros (87 %) ingresaron con hiperlactatemia y, de estos, 36 (39 %) presentaban concentraciones superiores a $> 5,5$ mmol/L, 22 sobrevivieron (61 %) y 14 murieron (39 %).

Determinantes de los trastornos ácido-básicos en potros hospitalizados

Se encontraron valores más altos de pH, CHCO_3 , BE, Ca, AGap, glucosa y SID al momento del ingreso en los potros que sobrevivieron, frente a los que no sobrevivieron. Mientras tanto, los potros que no sobrevivieron presentaron concentraciones más altas al ingreso de PCO_2 , Na, K, Cl y lactato. En ese sentido, las variables que mostraron diferencias estadísticamente

significativas frente al resultado se muestran en la tabla 7.

Mediante regresión logística hacia adelante, se determinó que la variable más significativamente relacionada con la supervivencia fue el $\text{pH} \geq 7,35$ ($p = 0,007$) (tabla 8).

Se utilizó el análisis de la curva de características del operador del receptor (ROC) para identificar el punto de corte en el que se optimizaban la sensibilidad y la especificidad diagnóstica del pH, el lactato y la glucosa, para predecir la supervivencia. Los valores de corte óptimos se definieron por los puntos que representan la mayor sensibilidad y especificidad concomitantes (figura 4).

Tabla 7. Comparación entre las variables de gases sanguíneos y electrolitos y la supervivencia

Variable	Vivió (n = 78)		Murió (n = 28)		U de Mann-Whitney	p	g de Hedges
	Mediana	Rango	Mediana	Rango			
PH	7,3725	0,35	7,3220	0,47	622,000	0,001	0,84
PCO_2	44,150	50,3	46,900	77,2	901,500	0,172	0,341
CHCO_3	25,200	28,8	24,100	28,7	961,500	0,350	0,288
BEecf	0,0000	31,90	-1,4500	36,40	807,000	0,041	0,479
Na	136,50	38	140,00	43	909,500	0,190	0,101
K	3,5000	3,70	3,7500	4,30	1030,500	0,659	0,102
Ca	1,2650	1,28	1,2650	1,39	1017,500	0,593	0,339
Cl	101,50	30	103,00	49	873,000	0,116	0,450
CTCO_2	26,6000	30,00	25,4000	28,60	997,500	0,498	0,232
AGap	10,00	31	10,00	13	1022,500	0,617	0,163
AGapk	14,00	34	14,50	13	1003,500	0,524	0,185
Glucosa	151,00	367	104,50	555	747,500	0,014	0,202
Lactato	3,2350	18,62	5,4200	10,92	786,500	0,029	0,307
SID	34,4050	33,45	32,8550	25,28	797,500	0,035	0,549

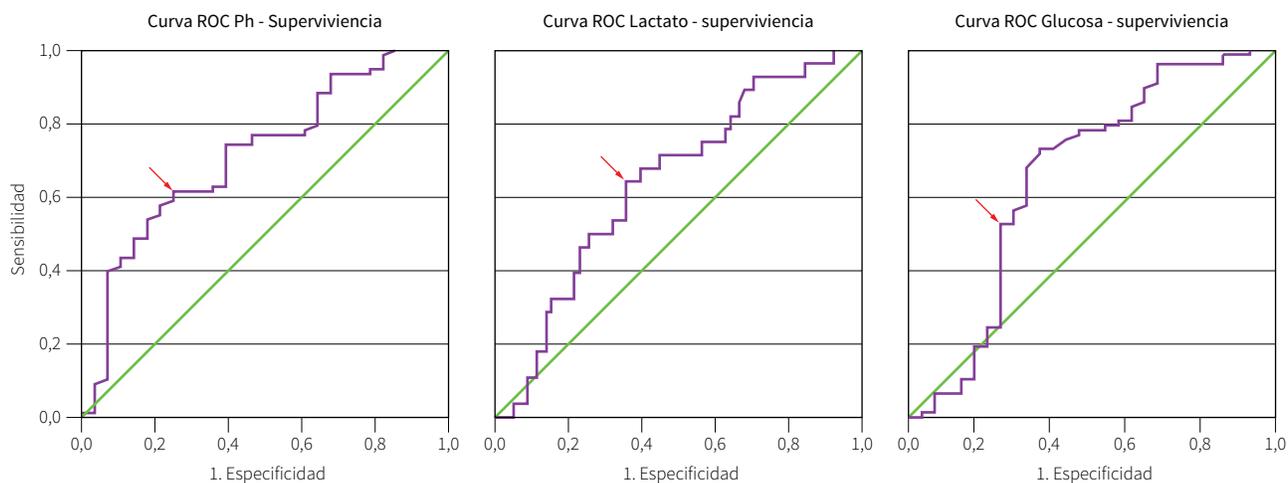
Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Regresión logística

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp (B)	95 % C.I. para EXP (B)		
							Inferior	Superior	
Paso 1	pH (1)	-1,246	0,458	7,399	1	0,007	0,288	0,117	0,706
	Constante	1,591	0,331	23,135	1	0,000	4,909		

Fuente: elaboración propia

Figura 4. Análisis de la curva de características del operador del receptor (ROC) pH y lactato para predecir supervivencia en 106 potros hospitalizados con diferentes diagnósticos clínicos



Los segmentos de diagonal se generan mediante empates.

* La flecha indica el punto de corte óptimo de pH, lactato y glucosa para clasificar correctamente pacientes sobrevivientes de no sobrevivientes (pH = 7,3595, sensibilidad = 71,5 %, especificidad = 61,5 %, AUC = 0,715, p = 0,001, IC del 95 %, 0,609 a 0,826) (lactato = 4,5 mmol/L, sensibilidad = 64,3 %, especificidad = 64,1 %, AUC = 0,640, p = 0,029, IC del 95 %, 0,525 a 0,754) (glucosa = 119,5 mg/dL, sensibilidad = 64,3 %, especificidad = 73,1 %, AUC = 0,658, p = 0,014, IC del 95 %, 0,521 a 0,794).

Fuente: elaboración propia

El resultado de la correlación entre el pH y el resultado fue moderada ($\rho_{(104)} = 0,329$, $p = 0,001$). Posteriormente, se evaluó la correlación entre el pH y las demás variables que fueron estadísticamente distintas entre los grupos (tabla 9). Los resultados indicaron una correlación significativa entre el pH y el BE, de manera que esta fue fuerte y positiva ($r_{(104)} = 0,607$); la correlación entre el pH y el SID fue moderada y positiva ($r_{(104)} = 0,408$), y la que hubo entre el pH y el lactato fue fuerte y negativa ($r_{(104)} = -0,529$) (figura 5).

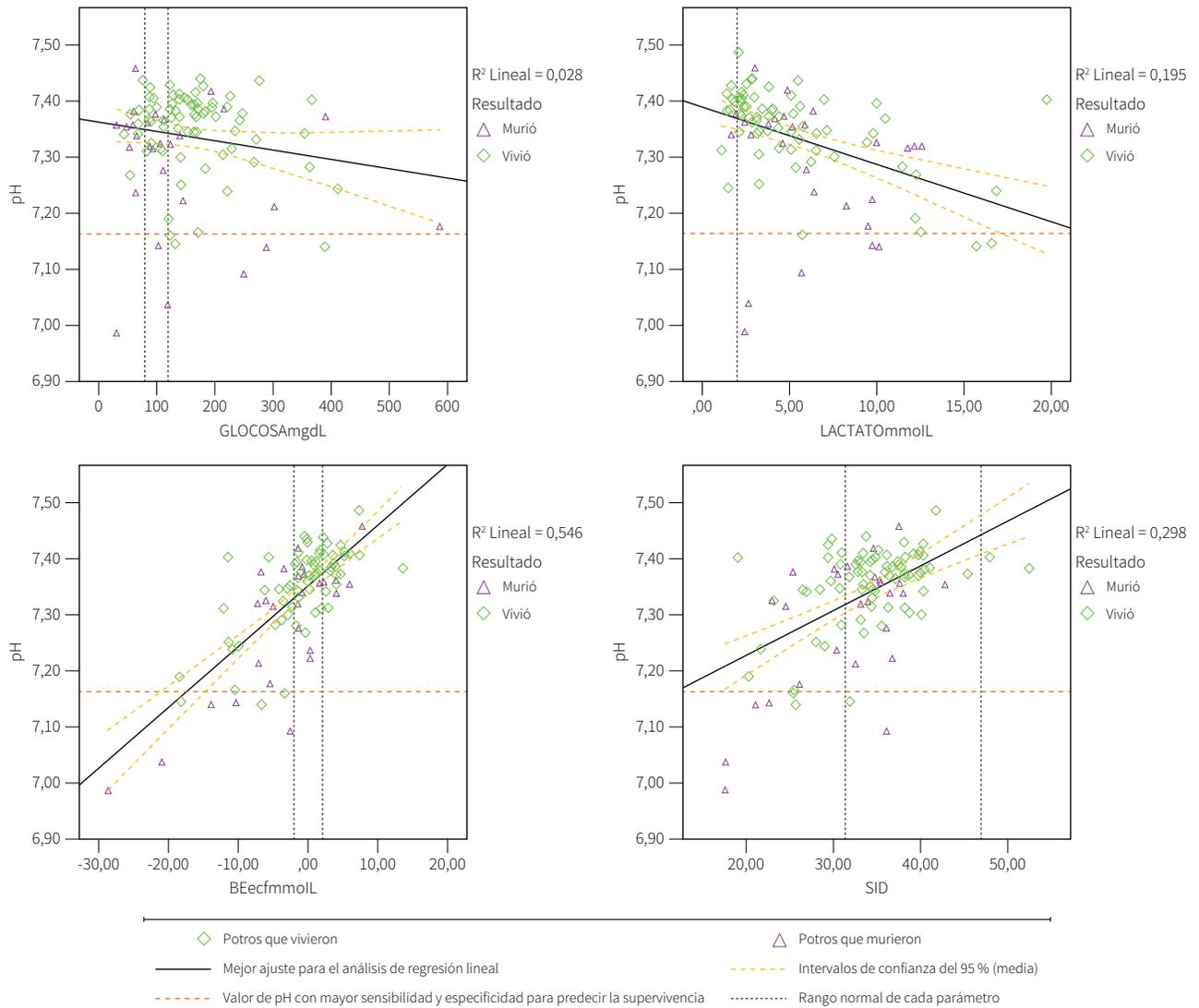
Tabla 9. Correlación (ρ) entre el pH y las variables significativamente diferentes entre grupos

Variables	pH	
	Rho Spearman	P
BE (ecf)	0,607	< 0,001
SID	0,408	< 0,001
Lactato	-0,529	< 0,001
Glucosa	-0,007	0,942

Fuente: elaboración propia

Por su parte, los factores de riesgo asociados con la no supervivencia de los potros neonatos se muestran en la tabla 10.

Figura 5. Diagrama de dispersión con la relación existente entre el pH y las variables estadísticamente diferentes entre grupos de potros hospitalizados



Cada símbolo representa el valor de un potro.

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Factores de riesgo asociados con la no supervivencia en potros

Variable	Estimación de riesgo	OR / RR	Intervalo de confianza de 95 %	
			Inferior	Superior
pH	< 7,3595 / > 7,3595	4,8	1,821	12,655
Lactato	> 4,5 / < 4,5	3,214	1,306	7,913
Glucosa	< 119,5 mg/dL / > 119,5 mg/dL	4,886	1,945	12,270

Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

Los estudios realizados en medicina de cuidados intensivos neonatales han ayudado a aumentar considerablemente la tasa de supervivencia de potros recién nacidos enfermos (37). En un estudio realizado por Giguere y sus colaboradores (10), se reporta que las probabilidades de supervivencia de los potros admitidos en la década de 2000 fueron aproximadamente 3,4 (95 %, IC = 1,9–6,0, $p < 0,001$) veces mayores que las de los potros admitidos en la década de 1980. En dicho estudio, la tasa de supervivencia fue del 74 % (78/106), una tasa que, aunque es inferior a la reportada por otros autores recientemente (83 % (12) , 82 % (15)), no está muy alejada de estas mediciones. Aquello indica que los procedimientos, cuidados y tratamientos empleados en el centro de referencia son eficaces frente a la gran variedad de patologías que presentan los pacientes.

En diferentes estudios, se han evaluado parámetros obtenidos a partir de varias ayudas paraclínicas como lo son el conteo sanguíneo completo (8, 10, 18), los gases sanguíneos (19, 38), la bioquímica sérica (38, 39) (el fibrinógeno (8), las proteínas totales(8), los electrolitos (19) —Na (40, 41), K, Ca, Cl—, las bilirrubinas (18), el BUN (18), la creatinina (8, 18), la glucosa (18, 42), los triglicéridos (43), el lactato (8, 44)), los hemocultivos (39), la concentración sérica de inmunoglobulinas (10), las hormonas (la insulina (43), el glucagón(43), la leptina (43), la AVP (39), la ACTH (39), el cortisol (39)), la concentración de andrógenos en el suero (45) y los metabolitos (46), entre otras. Con ello, se buscó cuáles funcionan como indicadores tempranos de supervivencia. En este estudio, se realizó un análisis de gases sanguíneos (pH, $p\text{CO}_2$, cHCO_3^- , BE(ecf)), electrolitos (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^-) y algunos metabolitos (glucosa y lactato), sin evaluar los componentes respiratorios, debido a que se estaba analizando una muestra de sangre venosa.

En suma, los análisis de gases en sangre arterial o venosa son de gran ayuda, ya que brindan información valiosa sobre la capacidad del paciente para oxigenar

y ventilar, además de evaluar el estado ácido-base de estos (22, 23).

Para interpretar correctamente los resultados de las diferentes pruebas, se deben tener en cuenta algunas consideraciones. En primer lugar, el clínico debe tener muy claro qué quiere evaluar en su paciente, para tomar la muestra adecuada según sea el caso (muestra de sangre arterial o venosa). Si se requiere evaluar la función pulmonar, es necesario realizar el análisis de gases en sangre arterial; mientras tanto, si el objetivo principal es evaluar el equilibrio ácido-base, como en el presente estudio, los análisis de sangre venosa mixta son los adecuados (21, 53, 54). En tanto, estudios realizados previamente evidencian diferencias significativas entre los parámetros de gases en sangre arterial y venosa, relacionados con la oxigenación ($p\text{O}_2$ y $p\text{CO}_2$); por su parte, el dióxido de carbono total, el pH y la BE fueron similares en ambas muestras, por lo que se concluye que las muestras de sangre venosa podrían ser una alternativa aceptable a la muestra arterial para el análisis de gases en sangre en potros recién nacidos, cuando el estado de oxigenación del paciente no es el primer objetivo a analizar (21).

En este caso, la toma de muestra de sangre venosa fue la elección del médico tratante, ya que esta se puede obtener de manera sencilla y rápida al momento de canalizar al paciente. De acuerdo con ello, la literatura reporta que la sangre arterial rara vez se extrae de caballos, lo cual obedece al hecho de que una muestra de sangre venosa es suficiente para realizar un examen hematológico y bioquímico básico, y, además, se cree que la sangre arterial es difícil de extraer (26). En potros, tomar una muestra de sangre venosa como alternativa a la sangre arterial, suele ser un procedimiento más seguro y más fácil de realizar (21).

Asimismo, se han utilizado dos enfoques para evaluar los desequilibrios ácido-base: el método de Henderson-Hasselbalch y el método de Stewart. El primero permite con mayor frecuencia el diagnóstico de trastornos ácido-básicos; sin embargo, es un enfoque descriptivo,

y no incluye el efecto de los electrolitos y las proteínas sobre el equilibrio ácido-base: mientras tanto, el enfoque del método de Stewart tiene en cuenta la $p\text{CO}_2$, la diferencia de iones fuertes (SID) y el total de aniones débiles en la solución (ATOT) (30, 55, 56). De tal forma, este proporciona mayor información acerca de la fisiopatología de los desequilibrios ácido-base (57, 58). Para este estudio se tuvo en cuenta el método de Henderson-Hasselbalch y, parcialmente, el método de Stewart, ya que no se contaba con la medición de proteínas plasmáticas totales, necesaria para calcular la ATOT y aplicar en su totalidad este modelo.

Es fundamental tener presente que los valores de gasometría y ácido-base en potros sanos varían de acuerdo con su edad posnatal. A comparación de los equinos adultos, los potros neonatos presentan algún grado de acidemia, hipercapnia e hipoxemia (59). Por esa razón, las variables evaluadas durante este estudio fueron comparadas con rangos establecidos según la edad del paciente, y en muestras de sangre venosa (tablas 2, 3 y 4).

A partir del análisis de las diferentes variables, se observó que el $\text{pH} \geq 7,35$ fue la variable más significativamente relacionada con la supervivencia ($p = 0,007$, $\text{OR} = 0,288$, $\text{IC} = 95\%: 0,117-0,706$) y el desorden ácido-básico más común al ingreso a hospitalización en este estudio fue la acidosis metabólica (37/106). Tal hecho concuerda con diferentes estudios en los que la acidemia ha sido el trastorno ácido-base más común en potros hospitalizados (60). Por ejemplo, en un estudio realizado por Gayle y sus colaboradores (61), se reporta que el porcentaje de potros que sobrevivieron fue significativamente mayor ($p = 0,018$) para los potros con pH sanguíneo $\geq 7,35$ (64,7%, 11/17) que para los potros con pH sanguíneo $< 7,35$ (28%, 7/25). Además, según Viu y sus colaboradores (32), varias formas de acidosis metabólica se han asociado con un mal pronóstico.

Asimismo, la acidosis se refleja en los análisis de gases en la sangre como un pH reducido y un déficit de base aumentado. Esta puede ser orgánica e inorgánica. En un estudio realizado por Viu y sus colaboradores en el 2015 (19), se observó que los mecanismos más probables

para los desequilibrios ácido-básicos fueron una disminución de la SID debido a la hiponatremia en presencia de normocloremia, hipercloremia o hiperlactatemia, y un aumento de los aniones fuertes no medidos. De igual modo, en la población actual, el mecanismo que probablemente explicaría de mejor manera los desequilibrios ácido-base fue la disminución de la SID, la cual se relaciona principalmente con el aumento de aniones fuertes, como el L-lactato, o con diferentes trastornos electrolíticos como la hipocalcemia (en la mayoría de casos), la hipokalemia y/o con hiponatremia en presencia de normocloremia o hipercloremia.

El lactato es el principal anión orgánico que contribuye a la acidemia; mientras tanto, las causas inorgánicas incluyen hiponatremia o hipercloremia, lo cual resulta en una disminución de la diferencia de iones fuertes (62). En este caso, 42 de los potros ingresaron a hospitalización con acidemia, 39 de ellos con hiperlactatemia, y los otros 3 presentaban diferentes desequilibrios electrolíticos (hiponatremia, hipocalcemia, hipokalemia), disminución de la diferencia de iones fuertes, y un déficit de base aumentado. Esto permite concluir que la acidosis orgánica se dio con mayor frecuencia en los pacientes estudiados.

En tanto, la concentración del lactato en la sangre se puede medir fácilmente en hospitales y en campo, especialmente con el uso de analizadores portátiles (63), como se hizo en este estudio. Su uso como indicador del pronóstico (64) y de gravedad de la enfermedad es una práctica común en la medicina humana y veterinaria (19, 29, 65). Asimismo, en neonatología equina, las concentraciones del lactato $> 5,5$ mmol/L generalmente son preocupantes, y se asocian con hipoxia y/o disminución de la perfusión tisular, alteraciones circulatorias o problemas metabólicos (24, 29, 66, 67, 68, 69).

Al interpretar la medición inicial del lactato, es importante tener en cuenta la edad del potro y el diagnóstico diferencial (9, 44, 63, 66). Esto obedece a que las concentraciones normales del lactato en la sangre son más altas en potros durante las primeras 24 a 72 horas de vida que en caballos adultos; sin embargo, estas deben

disminuir con el paso del tiempo (5, 64, 70). En este caso, se analizó la concentración del lactato en la sangre al ingreso al hospital, teniendo en cuenta los rangos normales para la edad de cada paciente. En efecto, se observó que 92 de los 106 potros (87 %) ingresaron con hiperlactatemia, y de estos, 36 (39 %) presentaban concentraciones superiores a $> 5,5$ mmol/L, 22 sobrevivieron (61 %) y 14 murieron (39 %). Entre los diagnósticos relacionados con estos pacientes, había sepsis, prematurez, dismadurez y síndrome de mal ajuste neonatal; asimismo, la mayoría de ellos ingresaron con pulso débil y extremidades frías, signos que, junto con la hiperlactatemia, se pueden utilizar como marcadores de hipoperfusión en potros, caballos y personas (63, 71, 72).

Varios estudios han identificado una asociación significativa entre las concentraciones del lactato y la supervivencia en potros enfermos (68). En ellos, se reporta que la concentración media del lactato al ingreso es significativamente mayor en los no supervivientes que en los supervivientes al ingreso y a las 18 a 36 h (17, 34, 44, 71, 73). En tanto, estudios previos han utilizado diferentes puntos de corte para determinar la relación existente entre la concentración del lactato y la supervivencia al alta hospitalaria. Wotman y sus colaboradores (71) analizaron dicha relación con una concentración del lactato en la sangre de 5,5 mmol/L (sensibilidad = 77 %, especificidad = 72 %; OR = 0,78, IC = 95 %: 0,73 a 0,85, $p < 0,001$), mientras que Borchers y sus colaboradores (34) utilizaron como punto de corte 4,4 mmol/L (sensibilidad = 63 %, especificidad = 63 %, OR = 1,14, $p < 0,001$). En ambos estudios, se realizaron mediciones seriadas de la concentración del lactato, desde el ingreso hasta el alta del paciente, y se concluyó que el riesgo de muerte aumenta entre el 18 y el 47 % (incluso más en algunos casos) con cada aumento de 1 mmol/L en la concentración del lactato.

En este estudio, la concentración del lactato al ingreso a hospitalización mostró diferencias significativas frente al resultado (U Mann Whitney = 786, $p = 0,029$). En tanto, la media fue mayor en los pacientes que murieron frente a los que se dieron de alta (6,1 mmol/L y

4,9 mmol/L, respectivamente), y la correlación entre el pH y el lactato fue significativa ($p = 0,000$), fuerte y negativa ($r_{(104)} = -0,529$). Asimismo, el punto de corte utilizado para establecer la relación entre la concentración del lactato y la supervivencia fue de 4,5 mmol/L (sensibilidad = 64,3 %, especificidad = 64,1 %, AUC = 0,640, $p = 0,029$, IC = 95 %: 0,525–0,754). Los pacientes que ingresaron a la clínica con lactato mayor a 4,5 mmol/L, tuvieron 3,214 veces más riesgo de morir frente a los pacientes con lactato menor o igual.

Se ha reportado que el hecho de no restaurar la concentración de lactato a valores cercanos a los normales (menos de aproximadamente 3 mmol/L) en 48 horas, o un aumento persistente de la concentración del lactato en un potro a pesar del tratamiento intensivo, se asocia con un pronóstico reservado. En estos casos, se debe sospechar de un estímulo inflamatorio no resuelto, y de una sepsis no controlada (69). Por consiguiente, la concentración de lactato en la sangre no debe usarse como el único método para evaluar la vitalidad neonatal, sino que debe evaluarse en asociación con otras variables y los hallazgos del examen clínico del animal (66).

El exceso o déficit de base (BE) representa el número de mili equivalentes adicionales de ácido o base que se deben agregar a un litro de sangre para normalizar el pH a una temperatura de 37 °C. Este representa una medida confiable del componente metabólico y es una herramienta clínica práctica (74). En este estudio, se observó una correlación significativa entre el pH y el BE de manera fuerte y positiva ($r_{(104)} = 0,607$).

Por otra parte, se ha reportado que la SID está relacionada directamente con el pH, es decir, que un incremento de la SID corresponde a un incremento del pH, y una disminución de la SID atañe a un descenso del pH; aquello concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, en el que la correlación entre el pH y el SID fue moderada y positiva ($r_{(104)} = 0,408$) (74).

Otro indicador importante para evaluar el estado ácido-base de los potros es el AnionGap; en ese sentido, una brecha aniónica alta es un indicador de acidosis

metabólica, debido a la hipoxia y perfusión tisular reducida (18). Asimismo, en diferentes estudios se ha reportado que la brecha aniónica es menor en los supervivientes a comparación de los no supervivientes (18, 75, 76, 77). En este caso, en 21 los 36 pacientes con acidosis metabólica, y 5 de los 8 pacientes con acidosis metabólica compensada, el AnionGap se encontraba por encima del rango normal; sin embargo, la media de la brecha aniónica fue mayor en los supervivientes a comparación de los no supervivientes (11,15 mmol/L y 10,43 mmol/L respectivamente). Lo anterior puede obedecer al hecho de que el análisis se realizó únicamente con los datos de ingreso del paciente, y no se evaluaron mediciones seriadas de los diferentes parámetros luego de iniciar el tratamiento.

Otro de los metabolitos importantes en este análisis fue la glucosa. En ese sentido, diferentes estudios han encontrado una asociación significativa entre el nivel de glucosa en la sangre y la supervivencia del paciente, en cuyo caso las concentraciones de glucosa son significativamente más bajas al ingreso a hospitalización en potros no sobrevivientes (42, 43, 49, 78).

En un estudio previo realizado por Hollis y sus colaboradores (42), la hipoglucemia (glucosa < 4,2 mmol/L o 75,6 mg/dL) al ingreso, se asoció con un peor pronóstico de supervivencia al alta hospitalaria ($p < 0,001$), y por cada aumento de 1 mmol/L (18 mg/dL) de glucosa en la sangre, las probabilidades de supervivencia al alta hospitalaria aumentaron en 3,39 (IC = 95 %: 2,12–5,41). De este grupo, el subgrupo de aquellos con hipoglucemia extrema (glucosa en sangre < 2,8 mmol/L (50,4 mg/dL)) al ingreso, se asoció con un peor pronóstico al alta hospitalaria a comparación de los demás animales con hipoglicemia ($p < 0,001$). En el presente estudio, los potros que ingresaron a hospitalización con niveles de glucosa por debajo de los 119,5mg/dL tenían 4,886 veces más riesgo de morir que los potros con niveles de glucosa por encima de dicho valor (OR: 4,886; IC = 95 %: 1,945–12,270).

Hay que tener en cuenta que durante sus primeros diez días de vida, el potro se enfrenta a un periodo crítico

de adaptación gluco regulatoria. Lo anterior obedece al cambio de nutrición parenteral a enteral que se da al nacimiento, momento desde el cual las glándulas endocrinas deben asumir el papel gluco regulatorio del neonato, para que pueda sobrevivir a la vida extrauterina (78). Cabe señalar que la glucosa a nivel sérico proviene de dos fuentes, la dieta y el metabolismo hepático (78). En ese sentido, el mantenimiento de la homeostasis de la glucosa inmediatamente después del parto depende de las reservas de glucógeno hepático, que deberían ser suficientes para proporcionar energía antes de amamantar (79). Por consiguiente, algunas causas de hipoglucemia en potros pueden ser la falta de ingesta de leche (54), las demandas metabólicas aumentadas y la gluconeogénesis reducida (2, 9).

En los potros sanos, la concentración de glucosa se mantiene mediante mecanismos gluco reguladores endocrinos, insulina y glucagón. Sin embargo, el desarrollo de enzimas gluconeogénicas en el hígado y el riñón es baja al momento del nacimiento, y recién llega a los niveles del adulto después del primer mes de vida (7). Por consiguiente, estos mecanismos no siempre son lo suficientemente competentes al nacer, especialmente en potros prematuros o dismaduros; en efecto, los episodios de hipoglucemia son comunes en potros críticamente enfermos (2, 5, 78).

En tanto, la hiperglucemia también es común en potros críticamente enfermos. En estudios previos, se han asociado la hiperglucemia y el ingreso a hospitalización con la no supervivencia de los potros, especialmente cuando la concentración de glucosa en la sangre supera los 180 mg/dL (42, 80). Se cree además que la hiperglucemia es perjudicial durante la enfermedad crítica, ya que puede conducir a una mayor producción de citoquinas inflamatorias, hipercoagulación, aumento de la apoptosis celular y disfunción endotelial, e incluso puede llegar a afectar la función inmunológica. Por consiguiente, los potros con los niveles más altos de glucosa en la sangre pueden tener menos probabilidades de sobrevivir (42). En este estudio, 66 potros ingresaron a hospitalización presentando hiperglucemia correspondiente a 66 (62,26 %). De ellos 11

murieron (16,66 %). Asimismo, entre los diagnósticos de este grupo de pacientes encontramos prematuridad, dismadurez, síndrome abdominal agudo, síndrome de mal ajuste neonatal y sepsis. Además, solo 17 potros ingresaron presentando hipoglicemia (16,04 %), y 9 de ellos murieron (52,94 %) con los mismos diagnósticos mencionados anteriormente. Con ello, se evidenció que en este caso los pacientes con hipoglicemia tuvieron menos probabilidades de sobrevivir que los que ingresaron con hiperglicemia.

Cabe señalar que la hiperglucemia y la hipoglucemia ocurren con aproximadamente la misma frecuencia en estos pacientes. La hipoglucemia y la hiperglucemia extrema al ingreso se asocian con la no supervivencia hasta el alta hospitalaria (42). Por tanto, es conveniente hacer seguimiento a este parámetro, para identificar a tiempo problemas en el metabolismo de la glucosa, y lograr corregirlos rápidamente (70).

Por otra parte, es necesario evaluar las concentraciones de electrolitos en la sangre de los potros neonatos que ingresen a hospitalización. En ese sentido, las concentraciones anormales de electrolitos en el potro recién nacido reflejan una disfunción placentaria, un ambiente alterado en el útero y enfermedades respiratorias o metabólicas. De tal modo, la enfermedad placentaria grave puede provocar hiponatremia, hipocloremia, hipokalemia o hiperkalemia, hipocalcemia o hipercalcemia e hiperfosfatemia (2). En tanto, las concentraciones de sodio, potasio, cloruro, bicarbonato y magnesio generalmente permanecen estables durante el período neonatal sin diferencias significativas con relación al caballo adulto (67). No obstante, las concentraciones de calcio total e ionizado varían durante los primeros días de vida; luego, se estabilizan y se mantienen dentro de los intervalos de referencia del adulto (67)

Cabe destacar que la sepsis es la causa más común de hipocalcemia en potros críticamente enfermos. La patogenia de la hipocalcemia en pacientes con sepsis es multifactorial, e incluye disfunción de las glándulas paratiroides, secuestro de calcio intracelular y pérdidas intestinales. En ese sentido, varios estudios han

confirmado que la hipocalcemia es frecuente en caballos con enfermedad gastrointestinal, y que la desregulación endocrina del calcio está asociada con la supervivencia de los potros (82). En este caso, el desequilibrio electrolítico más frecuente en los dos grupos estudiados fue la hipocalcemia (89/106), seguido por la hipokalemia (53/106), y uno de los diagnósticos más frecuentes en los pacientes fue la sepsis neonatal.

Los resultados de este estudio corroboran los hallazgos reportados en estudios previos que tratan del pronóstico de supervivencia en potros hospitalizados. En ese sentido, hay varias limitaciones derivadas de su carácter retrospectivo. Tal es el caso, por ejemplo, de los sesgos de toma de información y la falta de datos necesarios para analizar completamente los desequilibrios ácido-base. En efecto, algunos de los pacientes fueron excluidos del estudio y, además, no se pudo evaluar a los pacientes con el método de Stewart, ni clasificar más específicamente los desórdenes ácido-base, debido a que no se contaba con los datos requeridos (medición de proteínas plasmáticas totales). Otra limitante consistió en que los datos aquí analizados fueron tomados de un solo centro de referencia, por lo que sería relevante realizar la comparación con otras clínicas de la Sabana de Bogotá. Además, para finalizar, el muestreo en sangre venosa no permite evaluar la capacidad de oxigenación del paciente.

De tal forma, se deben realizar más estudios que comparen muestras de sangre arterial con muestras de sangre venosa, para definir si los resultados se ven afectados por el tipo de muestra. De igual modo, sería deseable incluir más variables que pudieran facilitar la evaluación de los desequilibrios ácido-base del paciente, como la medición de proteínas totales, albumina y fosfatos.

CONCLUSIONES

La medicina de cuidados intensivos ha aumentado de forma notoria la tasa de supervivencia de los potros recién nacidos que ingresan a hospitalización. En efecto, los análisis de gases en la sangre arterial o venosa han

sido de gran ayuda en este proceso, ya que brindan información valiosa sobre la capacidad del paciente para oxigenar y ventilar. Además, estos permiten evaluar el estado ácido-base, que se utiliza para diagnosticar trastornos metabólicos, respiratorios, y enfermedades digestivas y circulatorias.

Actualmente, muchos veterinarios consideran la medición de los parámetros mencionados anteriormente como procedimientos de rutina, lo cual ha contribuido a mejorar el potencial de diagnóstico, pronóstico y tratamiento en muchas enfermedades que afectan al potro neonato, y a aumentar las tasas de supervivencia. Además, los avances tecnológicos han facilitado este proceso, gracias a la mayor disponibilidad de equipos que permiten una estimación relativamente fácil y rápida de diferentes parámetros sanguíneos en campo.

REFERENCIAS

1. Franco MS, Oliver OJ. Enfermedades de los potros neonatos y su epidemiología: una revisión. *Rev Med Vet.* 2015;(29): 91-105. Disponible en: <https://doi.org/10.19052/mv.3449>
2. Axon JE, Palmer JE. Clinical pathology of the foal. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2008;24(2): 357-385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2008.03.005>
3. Salgueiro R, Alfonso A, Gomes M, Vela C, Sudano MJ, Oba E, et al. Electrolyte, blood gas and electrocardiographic profile of neonatal foals in the first 48 hours of life. *Acta Sci Vet.* 2015;43: 1321.
4. Bazzano M, Giudice E, Di Pietro S, Piccione G. Vital parameters in newborn thoroughbred foals during the first week of life. *Int J Anesthesiol Res.* 2014;2(2): 27-30. Disponible en: <https://doi.org/10.14205/2310-9394.2014.02.02.1>
5. Curcio B, Nogueira CE. Newborn adaptations and healthcare throughout the first age of the foal. *Anim Reprod.* 2012;9(3): 182-187. Disponible en: <https://www.animal-reproduction.org/article/5b5a6056f7783717068b46db>
6. Knottenbelt D, Holdstock N, Madigan J. *Equine Neonatology Medicine and Surgery.* Austin: Elsevier; 2004.
7. García S, Masri M. *Neonatología Equina.* 1ª ed. Vol. 53. Buenos Aires: Inter-Médica; 2010.
8. Dembek KA, Hurcombe SD, Frazer ML, Morresey PR, Toribio RE. Development of a likelihood of survival scoring system for hospitalized equine neonates using generalized boosted regression modeling. *PLoS One.* 2014;9(10): 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109212>
9. Cruz RKS, Alfonso A, Souza FF, Oba E, Padovani CR, Ramos PRR, et al. Evaluation of neonatal vitality and blood glucose, lactate and cortisol concentrations in foals of the Paint Horse breed. *Pesqui Vet Bras.* 2017;37(8): 891-896. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/pvb/a/9FSj47rht8VgPgNDJVvdjg/?lang=en>
10. Giguère S, Weber EJ, Sanchez LC. Factors associated with outcome and gradual improvement in survival over time in 1065 equine neonates admitted to an intensive care unit. *Equine Vet J.* 2017;49(1): 45-50. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/evj.12536>
11. Swain O'Fallon EA. Emergency Management of Equid Foals in the Field. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2021;37(2): 407-420. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2021.04.009>
12. Bohlin A, Saegerman C, Hoeberg E, Sånge A, Nostell K, Durie I, et al. Evaluation of the foal survival score in a Danish-Swedish population of neonatal foals upon hospital admission. *J Vet Intern Med.* 2019;33(3): 1507-1513. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jvim.15487>
13. Castagnetti C, Veronesi MC. Prognostic factors in the sick neonatal foal. *Vet Res Commun.* 2008;32(Suppl 1): S87-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11259-008-9097-z>
14. Rohrbach BW, Buchanan BR, Drake JM, Andrews FM, Bain FT, Byars DT, et al. Use of a multivariable model to estimate the probability of discharge in hospitalized foals that are 7 days of age or less. *J Am Vet Med Assoc.* 2006;228(11): 1748-1756. Disponible en: <https://doi.org/10.2460/javma.228.11.1748>
15. Bedenice D, Avila B, Paradis MR. Comparative evaluation of clinical findings and prognostic outcome parameters in hospitalized, critically ill neonatal foals and crias. *J Vet Emerg Crit Care.* 2021;31(5): 619-628. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vec.13093>

16. Dos Santos RS, Corrêa MN, De Araújo LO, Pazinato FM, Feijó LS, Curcio BR, et al. Avaliação hematológica e hemogasométrica de potros nascidos de éguas com placentite ascendente. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 2017;69(1): 48-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8565>
17. Abraham M, Bauquier J. Causes of equine perinatal mortality. *Vet J.* 2021;273: 105675. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2021.105675>
18. Saulez MN, Gummow B, Slovis NM, Byars TD, Frazer M, Macgillivray K, et al. Admission clinicopathological data, length of stay, cost and mortality in an equine neonatal intensive care unit. *J S Afr Vet Assoc.* 2007;78(3): 153-157. Disponible en: <https://doi.org/10.4102/jsava.v78i3.308>
19. Viu J, Armengou L, Ríos J, Cesarini C, Jose-Cunilleras E. Acid base imbalances in ill neonatal foals and their association with survival. *Equine Vet J.* 2015;49(1): 51-57. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/evj.12542>
20. Kincade CN, Davis I. Considerations in assessment and care of the high risk neonatal foal. *Iowa State Univ Vet.* 1992;54(2): 85-89.
21. Carluccio A, Contri A, Gloria A, Veronesi MC, Sfirro MP, Parrillo S, et al. Correlation between some arterial and venous blood gas parameters in healthy newborn Martina Franca donkey foals from birth to 96 hours of age. *Theriogenology.* 2017;87: 173-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.08.021>
22. Rieser TM. Arterial and venous blood gas analyses. *Top Companion Anim Med.* 2013;28(3): 86-90. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1053/j.tcam.2013.04.002>
23. Jeawon S, Katz LM, Galvin NP, Fogarty UM, Duggan VE. Determination of reference intervals for umbilical cord arterial and venous blood gas analysis of healthy Thoroughbred foals. *Theriogenology.* 2018;118: 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.05.024>
24. Radcliffe RM, Buchanan BR, Cook VL, Divers TJ. The clinical value of whole blood point-of-care biomarkers in large animal emergency and critical care medicine. *J Vet Emerg Crit Care.* 2015;25(1): 138-151. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vec.12276>
25. Jaramillo C, Ramírez LM, Arias MP, Álvarez ID. Gases sanguíneos, electrolitos, variables metabólicas y determinantes del estado ácido-base en un grupo de Caballos Criollos Colombianos. *Rev Fac Med Vet Zootec.* 2016;63(1): 20-29.
26. Sławuta P, Noszczyk-Nowak A, Nowakowski H. Acid-base balance parameters and a value of anion gap of arterial and venous blood in Malopolski horses. *Pol J Vet Sci.* 2010;13(4): 581-585. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/v10181-010-0003-6>
27. Stämpfli HR, Schoster A, Constable PD. Clinical utility of serum biochemical variables for predicting acid-base balance in critically ill horses. *Vet Clin Pathol.* 2014;43(4): 547-556. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vcp.12200>
28. Rehm M, Conzen P, Peter K, Finsterer U. Das Stewart-Modell „Moderner“ Ansatz zur Interpretation des Säure-Basen-Haushalts. *Anaesthesist.* 2004;4: 347-357.
29. Gomez DE, Arroyo LG, Stämpfli HR, Cruz LE, Oliver OJ. Physicochemical interpretation of acid-base abnormalities in 54 adult horses with acute severe colitis and diarrhea. *J Vet Intern Med.* 2013;27(3): 548-553. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jvim.12071>
30. Viu J, Jose-Cunilleras E, Armengou L, Cesarini C, Tarancón I, Ríos J, et al. Acid-base imbalances during a 120 km endurance race compared by traditional and simplified strong ion difference methods. *Equine Vet J Suppl.* 2010;42(Suppl 38): 76-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00213.x>
31. Smith BP. *Medicina Interna de Grandes Animales.* 4ª ed. Barcelona: Elsevier; 2010.
32. Viu J, Armengou L, Ríos J, Muñoz A, Jose-Cunilleras E. Simplified strong ion difference approach to acid-base balance in healthy foals. *J Vet Emerg Crit Care.* 2016;26(4): 549-558. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vec.12488>
33. Neil K. How to use lactate in equine practice. *Aust Equine Vet.* 2008;27(4): 34-48. Disponible en: <https://www.ava.com.au/library-resources/library/ava-scientific-journals/aev/2008/how-to-use-lactate-in-equine-practice/>
34. Borchers A, Wilkins PA, Marsh PM, Axon JE, Read J, Castagnetti C, et al. Association of admission L-lactate concentration in hospitalised equine neonates with presenting complaint, periparturient events, clinical diagnosis and outcome: A prospective multicentre study.

- Equine Vet J. 2012;44(Suppl 41): 57-63. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2011.00509.x>
35. Southwood LL. Practical Guide to Equine Colic. John Wiley & Sons; 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118704783>
 36. Berlin D, Aroch I. Concentrations of ionized and total magnesium and calcium in healthy horses: Effects of age, pregnancy, lactation, pH and sample type. *Vet J.* 2009;181(3): 305-311. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.03.014>
 37. Vengust M. Hypercapnic respiratory acidosis: A protective or harmful strategy for critically ill newborn foals? *Can J Vet Res.* 2012;76(4): 275-280. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3460606/>
 38. Sánchez LC, Giguère S, Lester GD. Factors associated with survival of neonatal foals with bacteremia and racing performance of surviving Thoroughbreds: 423 Cases (1982-2007). *J Am Vet Med Assoc.* 2008;233(9): 1446-1452. Disponible en: <https://doi.org/10.2460/javma.233.9.1446>
 39. Hurcombe SDA, Toribio RE, Slovis N, Kohn CW, Refsal K, Saville W, et al. Blood arginine vasopressin, adrenocorticotropin hormone, and cortisol concentrations at admission in septic and critically ill foals and their association with survival. *J Vet Intern Med.* 2008;22(3): 639-647. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0090.x>
 40. Collins NM, Carrick JB, Russell CM, Axon JE. Hypernatraemia in 39 hospitalised foals: clinical findings, primary diagnosis and outcome. *Aust Vet J.* 2018;96(10): 385-389. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/avj.12749>
 41. Collins NM, Axon JE, Carrick JB, Russell CM, Palmer JE. Severe hyponatraemia in foals: clinical findings, primary diagnosis and outcome. *Aust Vet J.* 2016;94(6): 186-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/avj.12446>
 42. Hollis AR, Furr MO, Magdesian KG, Axon JE, Ludlow V, Boston RC, et al. Blood glucose concentrations in critically ill neonatal foals. *J Vet Intern Med.* 2008;22(5): 1223-1227. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0174.x>
 43. Barsnick RJIM, Hurcombe SDA, Smith PA, Slovis NM, Sprayberry KA, Saville WJA, et al. Insulin, Glucagon, and Leptin in Critically Ill Foals. *J Vet Intern Med.* 2011;25(1): 123-131. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2010.0636.x>
 44. Corley KTT, Donaldson LL, Furr MO. Arterial lactate concentration, hospital survival, sepsis and SIRS in critically ill neonatal foals. *Equine Vet J.* 2005;37(1): 53-59. Disponible en: <https://doi.org/10.2746/0425164054406856>
 45. Swink JM, Rings LM, Snyder HA, McAuley RC, Burns TA, Dembek KA, et al. Dynamics of androgens in healthy and hospitalized newborn foals. *J Vet Intern Med.* 2020;35(1): 538-549. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jvim.15974>
 46. Kamr AM, Dembek KA, Reed SM, Slovis NM, Zaghawa AA, Rosol TJ, et al. Vitamin D metabolites and their association with calcium, phosphorus, and PTH concentrations, severity of illness, and mortality in hospitalized equine neonates. *PLoS One.* 2015;10(6): 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127684>
 47. West E, Bardell D, Senior JM. Comparison of the EPOC and i-STAT analysers for canine blood gas and electrolyte analysis. *J Small Anim Pract.* 2014;55(3): 139-144. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jsap.12177>
 48. Elmeshreghi TN, Grubb TL, Greene SA, Ragle CA, Wardrop JA. Comparison of Enterprise Point-of-Care and Nova Biomedical Critical Care Xpress analyzers for determination of arterial pH, blood gas, and electrolyte values in canine and equine blood. *Vet Clin Pathol.* 2018;47(3): 415-424. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vcp.12635>
 49. Bardell D, West E, Mark Senior J. Evaluation of a new handheld point-of-care blood gas analyser using 100 equine blood samples. *Vet Anaesth Analg.* 2017;44(1): 77-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vaa.12392>
 50. Peiró JR, Borges AS, Gonçalves RC, Mendes LCN. 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. 2010;71(5): 515-521. Disponible en: <https://doi.org/10.2460/ajvr.71.5.515>
51. Viesselmann LC, Videla R, Flatland B. Verification of the Heska Element Point-of-Care blood gas instrument for use with venous blood from alpacas and llamas, with determination of reference intervals. *Vet Clin Pathol.* 2018;47(3): 435-447. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/vcp.12628>
 52. Kirsch K, Detilleux J, Serteyn D, Sandersen C. Comparison of two portable clinical analyzers to one stationary analyzer for the determination of blood gas partial pressures and blood electrolyte concentrations in horses. *PLoS One.* 2019;14(2): 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211104>
 53. Guedes A. Blood gases. En: Pusterla N, Higgins J (eds.), *Interpretation of Equine Laboratory Diagnostics.* 1ª ed. John Wiley & Sons, Inc.; 2017. p. 57-65.
 54. Stoneham S. Foal Nursing. En: Coumbe K (ed.), *Equine Veterinary Nursing.* 2ª ed. Iowa: Wiley-Blackwell; 2012. p. 286-302.
 55. Häubi C, Moreno-Santillán A, De León-Ponce MD, Briones-Vega CG, Meneses-Calderón J, Orenday-Aréchinga ME, et al. Teoría ácido-básico de Stewart, un nuevo paradigma en medicina crítica. *Rev Mex Anestesiología.* 2006;29(4): 240-244. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=10233>
 56. Constable P. Clinical Assessment of Acid-Base Status: Comparison of the Henderson-Hasselbalch and Strong Ion Approaches. *Vet Clin Pathol.* 2000;29(4): 115-128. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1939-165X.2000.tb00241.x>
 57. Sirker AA, Rhodes A, Grounds RM, Bennett ED. Acid-base physiology: the 'traditional' and the 'modern' approaches. *Anaesthesia.* 2002;57(4): 348-356. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.0003-2409.2001.02447.x>
 58. Quintard H, Hubert S, Ichai C. Qu'apporte le modèle de Stewart à l'interprétation des troubles de l'équilibre acide-base? What is the contribution of Stewart's concept in acid-base disorders analysis? *Ann Franç d'Anesth Réanim.* 2007;26(5): 423-433. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.annfar.2007.02.012>
 59. Hodgson DR. Blood Gas and Acid-Base Changes in the Neonatal Foal. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1987;3(3): 617-629. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30667-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30667-3)
 60. Gómez DE, Biermann NM, Sánchez LC. Physicochemical Approach to Determine the Mechanism for Acid-Base Disorders in 793 Hospitalized Foals. *J Vet Intern Med.* 2015;29(5): 1395-1402. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jvim.13590>
 61. Gayle JM, Cohen ND, Chaffin MK. Factors associated with survival in septicemic foals: 65 cases (1988-1995). *J Vet Intern Med.* 1998;12(3): 140-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1998.tb02109.x>
 62. Paradise M. *Equine Neonatal Medicine: A Case-Based Approach.* Philadelphia: Elsevier; 2006.
 63. Castagnetti C, Pirrone A, Mariella J, Mari G. Venous blood lactate evaluation in equine neonatal intensive care. *Theriogenology.* 2010;73(3): 343-357. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.09.018>
 64. Tennent-Brown B. Blood lactate measurement and interpretation in critically ill equine adults and neonates. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2014;30(2): 399-413. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2014.04.006>
 65. Allen SE, Holm JL. Lactate: physiology and clinical utility. *J Vet Emerg Crit Care.* 2008;18(2): 123-132. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1476-4431.2008.00286.x>
 66. Henderson ISF. Diagnostic and prognostic use of L-lactate measurement in equine practice. *Equine Vet Educ.* 2013;25(9): 468-475. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/eve.12033>
 67. Barton M, Hart KA. Clinical pathology in the foal. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2020;36(1): 73-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2019.11.003>
 68. Pirrone A, Mariella J, Gentilini F, Castagnetti C. Amniotic fluid and blood lactate concentrations in mares and foals in the early postpartum period. *Theriogenology.* 2012;78(6): 1182-1189. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.02.032>
 69. Reed S, Bayly W, Sellon D. *Equine Internal Medicine.* 3ª ed. St. Louis: Elsevier; 2010.

70. Austin SM. Assessment of the equine neonate in ambulatory practice. *Equine Vet Educ.* 2013;25(11): 585-589. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/eve.12064>
71. Wotman K, Wilkins PA, Palmer JE, Boston RC. Association of blood lactate concentration and outcome in foals. *J Vet Intern Med.* 2009;23(3): 598-605. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2009.0277.x>
72. Dembek K, Onasch K, Hurcombe SDA, Macgillivray KC, Slovis NM, Barr BS, et al. Renin-angiotensin-aldosterone system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis in hospitalized newborn foals. *J Vet Intern Med.* 2013;27(2): 331-338. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jvim.12043>
73. Henderson SF, Franklin RP, Wilkins PA, Boston RC. Association of hyperlactatemia with age, diagnosis, and survival in equine neonates. *J Vet Emerg Crit Care.* 2008;18(5): 496-502. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1476-4431.2008.00349.x>
74. Koterba A, Drummond W, Kosch P. *Equine clinical neonatology.* USA; 1990.
75. Bedenice D, Heuwieser W, Solano M, Rand W, Paradis MR. Risk factors and prognostic variables for survival of foals with radiographic evidence of pulmonary disease. *J Vet Intern Med.* 2003;17(6): 868-875. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2003.tb02527.x>
76. Hoffman AM, Staempfli HR, Willan A. Prognostic variables for survival of neonatal foals under intensive care. *J Vet Intern Med.* 1992;6(2): 89-95. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1992.tb03157.x>
77. Wilkins PA. Prognostic Indicators for Survival and Athletic Outcome in Critically Ill Neonatal Foals. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2015;31(3): 615-628. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cveq.2015.09.006>
78. Buitrago J, Campuzano S, Bolívar D, López Y, Cardona J. Niveles de glicemia en potros criollo colombiano durante sus primeras horas de vida TT. *Ces Med Vet Zootec.* 2016;11(3): 48-57. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072016000300006
79. Landim-Alvarenga FC, Prestes NC, Fernandes C. Interrupção da gestação e indução de parto. En: *Obstetrícia veterinária.* Río de Janeiro: Guanabara Koogan; 2006.
80. Boakari YL, Alonso MA, Riccio AV, Affonso FJ, Losano JD de A, Nichi M, et al. Evaluation of Blood Glucose and Lactate Concentrations in Mule and Equine Foals. *J Equine Vet Sci.* 2021;101. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103369>
81. Ijaz M, Farooqi SH, Rahmatullah, Aqib AI, Ali S, Ghaffar A, et al. Effect of diarrhea on hematocrit and serum biochemical profile in foals. *Pak J Zool.* 2019;51(1): 383-386. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.1.SC8>
82. Toribio RE. Disorders of calcium and phosphate metabolism in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2011;27(1): 129-147. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2010.12.010>