



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DESAJUSTES METABÓLICOS EN LA CERDA DURANTE EL
RETIRO DE SU CAMADA

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:
USIEL ALMAZÁN REYES

ASESORES
MVZ, DCV. MARÍA ELENA TRUJILLO ORTEGA
MVZ, Dr. DANIEL MOTA ROJAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres, Juan y Asunción, por ser un ejemplo de vida, su amor y su confianza han formado el hombre que soy. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que ha sido mi amparo y mi fortaleza durante todas las etapas de mi vida.

A mi Alma Mater, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que me permitió tener una formación sólida y competitiva.

A mis asesores, Dra. María Elena Trujillo Ortega, por brindarme la oportunidad de trabajar a su lado, y seguir aprendiendo de usted, gracias. Al Dr. Daniel M.R., por su valiosa colaboración, y tiempo dedicado al presente estudio.

Al MVZ Roberto Martínez Rodríguez, Director Técnico del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP), de la FMVZ de la UNAM, por su apoyo en la realización del proyecto.

A todos los que de manera directa e indirecta brindaron su apoyo en la realización de esta tesis.

RESUMEN

ALMAZÁN REYES USIEL. Desajustes metabólicos en la cerda durante el retiro de su camada (bajo la dirección de: MVZ. DCV. María Elena Trujillo Ortega, y MVZ Dr. Daniel Mota Rojas). El destete es un evento de suma importancia debido al estrés que este puede causar en la cerda destetada como en su camada. El objetivo del presente estudio es la determinación del perfil fisiometabólico de la cerda durante el retiro de su camada a los 21 días y durante los tres días siguientes, a través de variables bioquímicas sanguíneas. Se utilizaron 59 cerdas multíparas, de dos diferentes centros productivos A y B, con un promedio de 21 días de lactancia. Se monitorearon y muestrearon 24 horas previas al destete, y a las 6, 24, 48 y 72 horas posteriores al mismo. Todas las muestras fueron evaluadas por un analizador de gases sanguíneos (GEM Premier 3000, Instrumentation Laboratory Diagnostics S. A. de C. V. México). Se observó la presencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) en las variables pH, $p\text{CO}_2$, $p\text{O}_2$, Na, Ca^{2+} , Glucosa, Lactato y Hematocrito, es decir, el tiempo postdestete afecta las variables críticas sanguíneas. Además se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el centro productivo A y el centro productivo B en las variables pH a las 6 ($p=0.8129$) y 24 horas ($p=0.0027$), Ca^{2+} a las 6 horas ($p=0.0163$), Glucosa en la muestra basal ($p=0.0004$) y Lactato a las 6 horas ($p=0.0003$), por lo que se presume que el manejo pre y post destete, influye en la compensación fisiometabólica de la cerda en respuesta al estímulo estresante. El destete ocasiona en la cerda una acidosis metabólica por ganancia de ácidos no volátiles, misma que se ve influenciada por el manejo previo y posterior al destete. Es factible realizar más estudios que determinen los factores que pueden influir en el bienestar de la cerda al destete.

Palabras clave: Cerda, destete, pH, Ca^{2+} , Glucosa, Lactato, acidosis, metabólica

CONTENIDO

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
2.1 Importancia de la cerda en los sistemas de producción porcina.....	3
2.1.1 La cerda como unidad productiva.....	3
2.1.2 Gasometría sanguínea en la cerda destetada.....	5
2.2 Toma de muestras para la valoración del equilibrio ácido básico.....	5
2.2.1 Selección del sitio de la toma de muestras.....	7
2.3 Comprensión del metabolismo hídrico.....	8
2.4 Valoración del estado de hidratación	8
2.4.1 Trastornos del metabolismo hídrico.....	9
2.5 Homeostasia ácido-básica	10
2.5.1 Regulación ácido-básica.....	10
2.5.2 Conceptos de interés para la comprensión del metabolismo ácido -base	12
2.5.3 Interpretación de la gasometría sanguínea.....	18
2.5.4 Alteraciones de los valores gasométricos.....	19
2.6 Trastornos del metabolismo ácido-base.....	19
2.6.1 Trastornos electrolíticos.....	22
2.6.2 Valoración de Glucosa y Lactato.....	27
3. Hipótesis.....	29
4. Objetivos.....	30
5. Justificación.....	31
6. Material y Métodos.....	32
7. Análisis Estadístico.....	35
8. Resultados.....	36
9. Discusión.....	43
10. Conclusiones.....	48
11. Bibliografía.....	49

1. INTRODUCCIÓN

El destete ocasiona una respuesta de estrés agudo debido a los cambios sociales, ambientales y nutricionales a los que son sometidos la cerda y su camada^{1,2}, lo cual se evidencia por la modificación en la duración de la vocalización la cual se prolonga y se presentan signos de intranquilidad.^{3,4,5} La respuesta fisiológica a esta condición de estrés esta mediada principalmente por el eje Hipotálamo- Hipófisis- Corteza Adrenal (H-H-CA)^{6,7,8,9,10,11,12}, que implica la activación del sistema nervioso simpático-adrenal, tal como lo propuso *Canon* (1932), citado por *Varley* (1994),⁶ lo cual es posible comprobar a través de la realización de mediciones de glucocorticoides presentes en diversos fluidos corporales. Estudios previos realizados por *Barnett JL. et al., (1984)*,⁷ *Barnett JL., Hemsworth PH. et al., (1986)*⁸, *Hemsworth PH., Barnett JL. et al., (1986)*⁹ y *Hemsworth PH., Barnett JL. et al., (1991)*,¹⁰ evaluaron la concentración de cortisol en plasma porcino, bajo diferentes condiciones ambientales, sociales y tratamientos diversos. Una manera sencilla de medir el cortisol en cerdos, es elaborando perfiles a partir de la secreción temporal de cortisol en saliva, de acuerdo a estudios previos hechos por *Rodarte LF. (2004)*¹¹ y *Janice M, et al., (2008)*,¹² o bien de la secreción de cortisol y cortisona en orina y de algunas catecolaminas tales como epinefrina y norepinefrina, para evaluar el efecto del destete en la conducta del lechón destetado, según estudios realizados por *Colson, et al., (2006)*,¹³ quien comparó el destete a 21 y 28 días encontrando en este último una importante reducción en las agresiones y las vocalizaciones de la camada con respecto a la primera, además de un mayor consumo de alimento.

Sin embargo, no hay estudios que determinen los cambios metabólicos de las cerdas por efecto del retiro de su camada. Los estudios en cerdas destetadas están orientados a aspectos reproductivos, y endocrinológicos, a fin de conocer el tiempo de ovulación e inseminación postdestete más adecuado, de acuerdo a la duración de la lactancia, así como el desempeño de fertilidad in vitro, y la sobrevivencia embrionaria según estudios previos realizados por *Willis HJ, et al.,*

(2003).¹⁴ Inclusive muchas veces lo que se requiere es estresar a las cerdas para que el reinicio de la actividad ovárica se adelante^{15, 16, 17,18}

Por otro lado, los estudios de estrés al destete se orientan más a la camada y el efecto que éste pudiera tener en el sistema inmune y desadaptación de los cerditos (*Niekamp SR, et al., 2007*).² Así como a la presencia de glucocorticoides en saliva, como indicador del estrés que sufren los cerdos destetados.^{11, 12}

Hasta el momento no hay estudios que demuestren como se da el intercambio gaseoso, el desequilibrio ácido base, y los ajustes metabólicos de la cerda durante el retiro de su camada. Por lo cual, el presente experimento tuvo por objetivo, realizar un estudio que incluya una serie de variables críticas sanguíneas que en su conjunto permitan evaluar y caracterizar de forma integral el perfil fisiometabólico de las cerdas a las que se les retira su camada. De la misma forma que se ha hecho en estudios previos con cerdos valorando el perfil plasmático para la valoración del estrés causado por la utilización de ciertos dispositivos de electrochoques.¹⁹

2. ANTECEDENTES (Revisión de la literatura)

2.1 Importancia de la cerda en los sistemas de producción porcina

2.1.1 La cerda como unidad productiva

Dentro de los sistemas de producción porcina, se considera a la cerda como la unidad productiva, por esta razón en los últimos años ha cobrado importancia el manejo de reemplazos, aumentando los días a primer servicio, así como el peso y el espesor de grasa dorsal, a fin de aumentar el número de lechones nacidos totales.²⁰ Sin embargo, en la etapa de destete, cobra mayor importancia el bienestar de los lechones, ya que estos son considerados el producto final, y representan el ingreso de divisas a la explotación, razón por la cual la mayoría de los estudios realizados al destete se enfocan en la salud y cuidado del lechón.

El destete en la cerda es un estado transitorio en el cual esta es sometida a una serie de cambios fisiológicos, a causa del manejo y la separación de su camada, el traslado de la maternidad a una área de servicios, donde se espera que en condiciones ideales presente un nuevo estro en no más de 8 días postdestete,²¹ durante este periodo la cerda es sometida a un nuevo orden social y es agrupada junto a otras cerdas destetadas, proceso que es conocido como "*hermanar*" a las cerdas, además de una rigurosa detección del estro en el área de servicios y gestación, donde también se evalúa la condición corporal de manera visual así como tomando su peso (kg) y el espesor de la grasa dorsal (mm), debido a que la mayor parte del peso que se pierde durante la lactancia, está representada por la movilización de grasas, para la síntesis de grasa de la leche. Estas dos variables influyen directamente sobre el ciclo reproductivo subsecuente, pudiendo incrementar el intervalo de destete a estro y la intensidad de los signos de este.²² En algunos casos tiene un cambio de su régimen alimenticio con la

aplicación de vitaminas liposolubles (A, D y E) por vía intramuscular, o bien puede ser sometida a un flushing alimenticio, a fin de elevar su tasa ovulatoria.²¹

En los sistemas de producción de cerdos donde se realiza el destete a los 21 días regularmente, es necesario contar con instalaciones especiales de explotación, además de que no se conoce con precisión el impacto que este tiene desde el punto de vista fisiológico, tanto de la cerda como de su camada. Aunado a esto se sabe que este tipo de destete requiere de manejo, sanidad y alimento especial por etapas. La reducción del periodo de lactancia, además de resultar en un acortamiento del ciclo productivo, ha ayudado a controlar la transmisión de enfermedades, pero en general se ha encontrado que esta disminución tiene un impacto negativo en los parámetros reproductivos.²³ Las lactancias cortas afectan la morfología y velocidad de la involución uterina durante el periodo postdestete. De esta manera al comparar cerdas destetadas a los cuatro días con cerdas en lactación, el endometrio de las primeras se repara mucho más rápido que el de las segundas.²¹ Al bajar los días de lactancia las cerdas tienen por una parte una mayor cantidad de partos por año y por lo tanto mayor cantidad de lechones, y por otra parte su desgaste fisiológico es mucho menor, aspecto sumamente importante en las líneas mejoradas que se emplean hoy en día, las cuales son muy susceptibles a perder peso en lactancias prolongadas.²⁰ Los efectos de la duración de la lactancia son mucho más manifiestos en las cerdas de tres o más partos que en las cerdas de primero o segundo, debido al menor tamaño de camada en estas últimas.²⁰

A pesar de la importancia que representa desde el punto de vista productivo dicho momento fisiológico, no se conocen aún con exactitud los mecanismos que regulan la fase de adaptación de la cerda lactante a su nuevo estado fisiológico como hembra “vacía”, con el consecuente cese de la producción láctea a falta del estímulo del lechón, y el paso de un estado de anestro fisiológico, a un estado de proestro, retomando de esta forma la actividad ovárica, que hasta el momento

había estado suprimida, o bien en algunos casos presentando estros silenciosos durante la etapa de lactancia.^{15, 16, 24}

Una manera más precisa de cuantificar el estrés durante esta etapa es elaborando un perfil hemático para cuantificar los gases en sangre; presión de bióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) y presión de oxígeno ($p\text{O}_2$), pH, glucosa, bicarbonato, electrolitos (Na^+ , K^+ y Ca^{2+}) y niveles de lactato, para determinar la forma en que el organismo de la cerda logra la homeostasis, de la misma manera que se hace con un recién nacido, caracterizando el estrés oxidativo y el ritmo de crecimiento de los individuos de bajo peso, según estudios realizados por *Velasco LE (2008)*²⁵ y *Vargas MA (2009)*²⁶ y como se comienza a hacer en el área de perinatología veterinaria, a través de la valoración del equilibrio ácido base y el metabolismo energético, de acuerdo a estudios realizados por *Alonso-Spilsbury et al., (2005)*,²⁷ *González M (2007)*,²⁸ *González GL (2008)*.²⁹

2.1.2 Gasometría sanguínea en la cerda destetada

La gasometría sanguínea consiste en la extracción de una pequeña cantidad de sangre, para tener el conocimiento del estado de los gases y el estado de oxigenación, ventilación y el equilibrio ácido-básico en sangre.^{29,30}

Si se desea conocer el estado fisiológico real de la cerda es necesario determinar no únicamente el pH, sino también el exceso de base. Esta se expresa en mEq/L y representa el efecto del poder tampón por la medida de la cantidad de ácidos y bases necesarios para obtener un pH normal.²⁹

2.2 Toma de muestras para la valoración del equilibrio ácido básico

Es importante tomar una serie de precauciones durante la obtención y procesamiento de la muestra sanguínea, para garantizar que los resultados sean fidedignos, tales como: a) Heparinizar las jeringas para la toma de muestras. La

heparina sódica (1/1.000) es el anticoagulante más utilizado, debido a sus mayores ventajas, aunque si se utiliza en exceso puede acidificar la muestra, (el citrato, oxalato o EDTA reducen el pH). Si en la muestra se utiliza poco anticoagulante o no se mezcla bien, aparecen coágulos,^{29,30} b) Eliminar las burbujas que pudieran haberse introducido durante la toma de la muestra, ya que la presencia de aire en la jeringa, por mal ajuste de esta o del embolo, alteran la muestra en pocos segundos; una vez extraída la muestra, la jeringa debe de quedar herméticamente cerrada, a fin de poder homogenizar y disolver bien la heparina sin mezclarse con el aire del ambiente,^{29,30} c) Realizar el análisis lo antes posible para reducir al máximo los efectos del metabolismo. Para que la muestra mantenga su estado inicial es preciso eliminar o limitar lo más posible los procesos metabólicos *in vitro* (los leucocitos son los que más oxígeno consumen) ,³¹ razón por lo que hay que realizar el análisis en menos de 10 minutos, en caso contrario la muestra se debe enfriar hasta 0-4° C, evitando retrasar el análisis más de 30 minutos.²⁹

Una muestra de sangre para la determinación de gases solo será útil si el animal reúne las condiciones previas; la cantidad (2 ml. aprox.), técnica y manipulación de la muestra es correcta.³¹

Como las concentraciones de pO₂, pCO₂ y pH son variables y pasajeras *in vivo*, es necesario para conseguir una mayor precisión el mantener al animal en reposo entre 20 y 30 minutos antes de la extracción, evitando al máximo el estrés del animal, pues los cambios en frecuencia respiratoria, el ejercicio, la angustia, etc., pueden hacer variar momentáneamente las presiones parciales de los gases. También debemos de tener en cuenta que la retención prolongada de la sangre en la jeringa reduce el pH y el HCO₃⁻.³¹

2.2.1 Selección del sitio de la toma de muestras

La forma más sencilla de obtener la muestra en la cerda es mediante punción de la vena yugular superficial, con la ayuda de una cuerda laza trompas. Si bien la sangre arterial tiene comúnmente una composición uniforme en todo el cuerpo, mientras que la sangre venosa varía según el tamaño y actividad del tejido que ha irrigado. La mayor diferencia entre la sangre arterial y la venosa la constituye su contenido de oxígeno, aunque también variá el pH y el CO₂.³¹ Sin embargo, por razones anatómicas debido al grosor de la capa grasa resulta la vena yugular la más accesible en cerdos ya sean jóvenes o adultos, siendo este el sitio donde comúnmente se realiza la punción para la obtención de muestras para exámenes metabólicos, fisiológicos, inmunológicos, etc. Tomando siempre en cuenta las variaciones en los valores antes citados tal como se evidencia en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores ácido-base normales en las especies domésticas							
Especie	Muestra de sangre	pH	PO ₂ mmHg	PCO ₂ mmHg	CO ₃ H ⁻ mmol/L	CO ₂ total mmol/L	DB/EB mmol/L
Perro	A	7.45	90.7	31.0	20.9		
Perro	A	7.43		32.6	21.0		1.7
Perro	V	7.40		35.0	20.9		2.3
Gato	A	7.34	102.9	33.6	17.5	18.4	6.4
Gato	V	7.30	38.6	41.8	19.4	20.1	5.7
Gato	A	7.46	97.2	29.9	21.0		
Gato	V	7.39	34.5	37.5	22.4		
Caballo	A	7.41	96.0	40.8	25.3		1.1
Caballo	V	7.39	46.5	43.0	25.4		0.7
Caballo	A	7.42	96.0	43.0			3.4
Vaca	A	7.47	103.0	36.8		25.5	
Vaca	V	7.38	33.1	44.1	24.1		0.6
Oveja	V	7.40		42.1	25.4		
Oveja	A	7.48	87.9	32.0			
Cerdo	A	7.50	83.1	40.0	31.0		
Cerdo	V	7.42	29.4	45.5	28.4		3.8

Adaptado de Robinson et al (Principios de Clinicopatología Medica Veterinaria) 1993³²

Debido a que en los pulmones, el CO₂ sale de la sangre, el pH aumenta de nuevo. Por esta razón, la sangre venosa es más ácida que la arterial,³³ no

obstante como ya se indico los valores de PCO_2 , PO_2 y pH son transitorios y muy variables, debido a la dinámica del intercambio de gases a nivel pulmonar.

2.3 Comprensión del metabolismo hídrico

La conservación de la composición del medio interno celular, comúnmente denominada “*homeostasis*”,³⁴ puede verse afectada por cambios en el entorno ya sean cambios físicos, sociales o la asociación de ambos, en respuesta a estos los organismos vivos, unicelulares y pluricelulares han desarrollado una serie de mecanismos reguladores para hacer frente al desajuste metabólico al que se enfrentan, para así conservar en equilibrio su medio interno celular y consecuentemente la salud.

Para entender la importancia de la conservación del medio interno celular es necesario tener en cuenta la composición de los seres vivos y la distribución de cada uno de sus componentes (agua, proteínas, lípidos, electrolitos etc.). Así tenemos que los organismos vivos particularmente los mamíferos están conformados aproximadamente en un 60% de agua (H_2O) de la cual un 45 a 65% es líquido intracelular,^{34,35} del restante líquido extracelular, el plasma sanguíneo constituye cerca del 25%, y es justamente aquí donde es posible cuantificar de manera poco más precisa cualquier desajuste en el equilibrio hídrico o electrolítico sanguíneo.

2.4 Valoración del estado de hidratación

Debido a que resulta poco práctico la valoración del agua total del organismo, lo que se valora es la concentración de eritrocitos (*hematocrito*),³¹ que se representa en porcentaje con respecto al volumen total de sangre (Cuadro 2).³⁶ También se valora la concentración de hemoglobina y el número total de eritrocitos, si bien con dichos parámetros el grado de valoración de la hidratación

no es 100% confiable, razón por lo que se recomienda valorar otros parámetros (proteínas plasmáticas totales, urea, etc.).

Cuadro 2. Valores normales de Hematocrito en distintas especies.	
	Hematocrito (%)
CABALLO	32-48
VACA	24-46
OVEJA	27-45
CABRA	22-38
CERDO	36-43
PERRO	37-55
GATO	30-45
CONEJO	33-55
RATA	39-55
Adaptado de Montaña F et. al. Exploración Clínica Veterinaria (1999) pp.148 ³⁶	

2.4.1 Trastornos del metabolismo hídrico

a) Deshidratación

Para valorar el estado de hidratación, las señales de laboratorio que nos pueden servir para la calificación de la deshidratación son en sangre, la hemoconcentración con el aumento del valor hematocrito (eritrocitosis) y elevación de proteínas plasmáticas (hiperproteïnemia), aunque la normalidad de ambas no descarta el problema; la disminución de la volemia y el aumento de la osmolaridad, si la deshidratación es por pérdida de líquido o de secreciones con escaso contenido salino.³¹

b) Hiperhidratación

Cuando las proporciones de ingreso y salida de agua en el organismo es favorable al ingreso se crea una situación de hiperhidratación. Es frecuente en los animales domésticos situaciones de exceso de ingesta de agua tras periodos de privación, y consecuente con las terapias con sueros en animales con insuficiencia renal, en los que alcanzarían diluciones electrolíticas peligrosas cuando además del aporte hídrico se forma y retiene agua endógena.

A nivel clínico esta sobrecarga hídrica se manifiesta con un aumento de peso del animal, acompañado o no de edemas, presentan taquicardia y signo de galope con posible grado de hipertensión. Con estos últimos signos pueden verse desde complicaciones leves de disnea a síntomas de edema agudo pulmonar. Los síntomas nerviosos (apatía, somnolencia e incluso coma) pueden manifestarse simultáneamente a las manifestaciones cardiocirculatorias.

Los análisis de laboratorio nos muestran aumento de la volemia y por dilución, descenso del hematocrito (anemia), de las proteínas totales (hipoproteïnemia) y de la osmolaridad.³¹

2.5 Homeostasia ácido-básica

2.5.1 Regulación ácido-básica

Para el mantenimiento de la homeostasis en la cerda como en cualquier mamífero, es esencial mantener constante el pH corporal, ya que el metabolismo requiere enzimas que funcionan con un pH óptimo.³³ El correcto funcionamiento de las células que componen el animal requiere el mantenimiento de la composición iónica de los líquidos corporales dentro de unos límites muy estrechos. El hidrógeno es uno de los iones que determina la acidez o la alcalinidad, y el pH de estos líquidos. Si sobrepasa seriamente los límites

normales puede interrumpir drásticamente el metabolismo celular y, por tanto, el funcionamiento del organismo.³³

La cantidad diaria más grande de iones hidrógeno (protones) se consigue durante el transporte de CO_2 desde los tejidos hasta los pulmones. Si estos lo eliminan con la misma velocidad que se produce en los tejidos, el cuerpo no tiene ganancia neta de protones. Sin embargo el equilibrio entre la eliminación y producción de CO_2 puede alterarse durante el ejercicio o la enfermedad, alterándose así la homeostasis ácido-básica del cuerpo.³³

La mayoría de las sustancias ácidas y básicas son ácidos débiles o bases débiles, que solo se disocian parcialmente (Cuadro 3). En una solución acuosa de un ácido débil existe un equilibrio, que puede medirse, entre el ácido y su base conjugada, la sustancia que puede aceptar un protón y formar de nuevo el ácido,³³ éste es el sistema regulador con el que funcionan los amortiguadores o buffers.³² Para que un ácido (o una base) pueda denominarse fuerte, debe tener una ionización cercana al 100%.³⁵

La tendencia de un ácido a donar protones, varía en gran medida. Esta variación está indicada por la gama de valores de K_a y de $\text{p}K_a$. Cuanto más fuerte es un ácido, más débil es su base conjugada. En otras palabras, cuanto más fuerte es la tendencia de un ácido a donar un protón, más débil es la tendencia de su base conjugada a aceptar un protón y a volver a formar el ácido.³⁵

Cuadro 3. Algunos ácidos débiles y sus bases conjugadas			
Ácido (donador de protón)	Base conjugada (aceptor de protón)	pK _a	K _a (M)
HCOOH Ácido fórmico	HCOO ⁻ Ion formato	+H ⁺ 3.75	1.78 x 10 ⁻⁴
CH ₃ COOH Ácido acético	CH ₃ COO ⁻ Ion acetato	+H ⁺ 4.76	1.74x 10 ⁻⁵
$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$ Ácido láctico	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3\text{CH}-\text{COO}^- \end{array}$ Ion lactate	+H ⁺ 3.86	1.38 x 10 ⁻⁴
H ₃ PO ₄ Ácido fosfórico	H ₂ PO ₄ ⁻ Ion dihidrógeno fosfato	+H ⁺ 2.14	7.24 x 10 ⁻³
H ₂ PO ₄ ⁻ Ion dihidrógeno fosfato	HPO ₄ ²⁻ ion monohidrógeno fosfato	+H ⁺ 6.86	1.38 x 10 ⁻⁷
HPO ₄ ²⁻ Ion monohidrógeno fosfato	HPO ₄ ³⁻ Ion fosfato	+H ⁺ 12.4	3.98 x 10 ⁻¹³
H ₂ CO ₃ Ácido carbónico	HCO ₃ ⁻ Ion bicarbonato	+H ⁺ 6.37	4.27 x 10 ⁻⁷
HCO ₃ ⁻ Ion bicarbonato	CO ₃ ²⁻ Ion carbonato	+H ⁺ 10.25	5.62 x 10 ⁻¹¹
C ₆ H ₅ OH Fenol	C ₆ H ₅ O ⁻ Ion fenolato	+H ⁺ 9.89	1.29 x 10 ⁻¹⁰
⁺ NH ₄ Ion amonio	NH ₃ Amoniaco	+H ⁺ 9.25	5.62 x 10 ⁻¹⁰
Adaptado de Mathews et al., Bioquímica pp43 ³⁵			

2.5.2 Conceptos de interés para la comprensión del metabolismo ácido-base.

A. pH

Se define como el logaritmo negativo de (H⁺) ³³ [tiene una relación inversa: cuando aumentan los iones H⁺ disminuye el pH (cuadro 4); y cuando disminuyen los iones H⁺, aumenta el pH] y es determinado por la relación de pCO₂ (presión parcial de dióxido de carbono) y HCO₃⁻ (ion bicarbonato). ³⁷

$$\text{pH} = 6.1 + \log (\text{HCO}_3^- / 0.03\text{pCO}_2)$$

Donde 6.1 representa la constante de disociación del ácido carbónico en líquidos corporales y 0.03, la constante de solubilidad del CO₂ (como evaluación convencional del H₂CO₃).³⁷

Cuadro 4. Relación entre H⁺ y pH.

[H⁺]	pH
20	7.699
30	7.523
36	7.444
40	7.398
44	7.357
50	7.301
60	7.222
70	7.155
80	7.097
90	7.046
100	7.000

Adaptado de Carrillo et al., Equilibrio ácido base.^{38, 39}

Los niveles de pH compatibles con la vida están entre 6.85-7.8, aunque rara vez se acercan a los extremos,³³ y normalmente el pH compatible con la vida en la especie porcina y demás especies se encuentra cercano al pH neutro (7.4)⁴⁰ tal como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. VALORES NORMALES DE PARÁMETROS PLASMÁTICOS SELECCIONADOS EN LAS ESPECIES DOMESTICAS						
--	Bovino	Equino	Ovino	Porcino	Canino	Felino
Sodio (mmol/L)	132-152	132-146	139-152	135-150	141,152	147-156
Potasio (mmol/L)	3,9-5,8	2,4-4,7	3,9-5,4	4,4-6,7	4,4-5,6	4,0-4,5
Calcio (mmol/L)	2.42-3.09	2.79-3.39	2.86-3.21	1.77-2.89	2.24-2.81	1.54-2.54
Proteínas totales(g/L)	0.067-0.075	0.057-0.079	0.060-0.079	0.079-0.089	0.054-0.071	0.054-0.078
pH plasma	7.31-7.53	7.32-7.44	7.32-7.53	7.39-7.40	7.31-7.42	7.24-7.40

** Se ha construido el cuadro de acuerdo con valores señalados por diversos autores. Todos los valores corresponden a individuos adultos.^{31,41}*

B. pCO₂.

Es la medida del CO₂ disuelto en el plasma sanguíneo: Esta determinada por la producción metabólica de CO₂ y la velocidad con que este se elimina a través de los pulmones. Valores por encima de los valores de referencia (Cuadro 6), indican hipercapnia, mientras valores inferiores indican hipocapnia.^{32,37}

C. pO₂.

La PaO₂ es reflejo directo de la función del intercambio de gases en el pulmón. Si los niveles están por debajo de los referidos (cuadro 6.) provocan un estado de hipoxemia, y cuando los exceden inducen un estado de hiperoxemia.^{32,}

37

Cuadro 6. Valores normales de pH y gases sanguíneos	
pH	7.4
PaCO ₂	35-40 mmHg.
PaO ₂	90-100 mmHg.
Adaptado de Robinson, et al (Principios de Clinopatología Médica Veterinaria) ³² y Nuñez y Bouda (Patología Clínica) 2007 ³⁷	

D. Ácidos

Potencial aceptor de pares electrónicos.^{35, 42, 43} Dador de protones.^{39, 43}

E. Bases

Sustancia que puede actuar como dadora de pares electrónicos.^{35, 42, 43}
 Aceptor de protones.^{39, 43}

F. Amortiguadores o buffers.

Son sustancias que aceptan o liberan protones (H⁺) y minimizan los cambios en el pH, como las proteínas plasmáticas, el bicarbonato, los fosfatos, la hemoglobina, etc.³⁷

Hay varios sistemas amortiguadores en el organismo, localizados en el plasma sanguíneo, los glóbulos rojos, los fluidos intersticial e intracelular y la matriz mineral ósea.³²

Amortiguadores plasmáticos.

El H^+ se une al HCO_3^- en forma reversible



El HCO_3^- representa el 50% de la capacidad amortiguadora del plasma. Si la producción de ácidos no volátiles excede la excreción, el HCO_3^- disminuye y la H^+ aumenta, resultando en acidosis metabólica, por otra parte si la excreción de HCO_3^- es mayor que la producción, el HCO_3^- aumenta y la H^+ disminuye resultando en alcalosis metabólica.³⁹

Hemoglobina (Hb), Proteínas y fosfatos (Amortiguadores intracelulares)

Existen otros sistemas de amortiguamiento como la Hb, proteínas y fosfatos, los cuales proveen de sitios adicionales de unión de H^+ y por lo tanto amortiguamiento. La Hb proporciona el 30% de la capacidad amortiguadora del plasma, el restante 20% lo comparten las proteínas y los fosfatos (13 y 7% respectivamente).³⁹

Respuesta respiratoria

El segundo sistema de amortiguamiento que hace frente a los trastornos del equilibrio ácido-base es el pulmonar; la disminución en el pH actúa estimulando quimiorreceptores en el tallo cerebral con incremento en la ventilación por minuto y eliminación del CO_2 .³⁹

Respuesta renal

a) Reabsorción o excreción del bicarbonato filtrado

El 85 - 90% del HCO_3^- filtrado es reabsorbido por el túbulo proximal, este el mecanismo más importante cuantitativamente. La secreción de H^+ por las nefronas sirve para reabsorber el HCO_3^- filtrado, disminuir el pH de la orina, titular amortiguadores urinarios y causar excreción de NH_4^+ .³⁹

b) Excreción de acidez titulable

A 7.4 de pH el 80% del fosfato circulante se encuentra en forma monohidrogenada y el 20% dihidrogenada. La mayor parte de la acidez titulable urinaria es formada por conversión de fosfato monohidrogenado a dihidrogenado.³⁹

c) Excreción de amonio

El amoniaco (NH_3) difunde a la luz tubular renal donde se une a H^+ para formar ion amonio no difusible (NH_4^+), el cual es excretado. Las modificaciones en la $[\text{H}^+]$ son el resultado de cambios en los ácidos volátiles o componente respiratorio, representado por la pCO_2 , y no volátiles o metabólico (láctico, hidrociorhídrico, sulfúrico, etc.).³⁹

Respuesta hepática

Metaboliza ácidos orgánicos en sus respectivas sales.³⁷

Respuesta ósea

Durante procesos de acidosis, puede absorber hidrogeniones, sustituyéndolos por iones calcio.³⁷

2.5.3 Interpretación de la gasometría sanguínea

La gasometría se debe de interpretar siempre de forma ordenada, seguir la misma secuencia (oxigenación, ventilación y equilibrio acido-base) y saber que los datos obtenidos de una muestra de sangre solo reflejan el estado del paciente en el momento en que se hizo el análisis, puesto que esos parámetros pueden cambiar de forma significativa en muy poco tiempo. Por eso, los resultados obtenidos no deben de valorarse nunca de forma aislada, sino en el contexto de la situación clínica del paciente, de los parámetros respiratorios, del estado circulatorio y de otros datos de monitorización.³⁰

Los analizadores de gases solo miden de forma directa el pH, la PO_2 y la PCO_2 y calculan el resto de los parámetros (SO_2 , HCO_3 , exceso de base). En algunas circunstancias, como el aumento de otras hemoglobinas en detrimento de SO_2 , HCO_3 o exceso de bases no se corresponden con los reales.³⁰

En la actualidad se dispone en el mercado de analizadores portátiles que mediante cartuchos de biosensores nos permiten valorar cuantitativamente diversos parámetros en sangre completa, así como el análisis de gases sanguíneos. Estos analizadores al ser portátiles nos permiten hacer el análisis junto al paciente. Como ventajas de este sistema tenemos entre otras, la rapidez y fiabilidad en la valoración de los parámetros, evitando el traslado de las muestras, la ausencia de mantenimiento y la facilidad de manejo, si bien los cartuchos utilizados hoy en día son caros.³¹

2.5.4 Alteraciones de los valores gasométricos

Hemos de partir de la base de las cifras que consideramos como normales en cada una de las especies para saber su significado. (Cuadro 7)

Cuadro 7. VALORES NORMALES DE pH Y pCO ₂ EN SANGRE EN DIFERENTES ESPECIES DOMESTICAS						
Parámetro	Caballo	Vaca	Oveja	Cerdo	Perro	Gato
pH	7.32-7.44	7.35-7.50	7.32-7.54	7.39	7.31-7.42	7.24-7.40
pCO ₂ (mmHg)	38-46	35-40	37-46	44.3	29-42	29-42

Tomado de Montaña F. (Exploración Clínica Veterinaria) 1999³¹

Valores por encima o debajo de los valores de referencia refieren trastornos metabólicos y/o respiratorios, la correcta interpretación de los resultados es el primer paso para realizar un diagnóstico oportuno y veraz.

2.6 Trastornos del metabolismo ácido-base

I. Acidemia.

Disminución del pH sanguíneo en relación con los valores de referencia. En el caso de la cerda, son valores por debajo de 7.4 aunque el pH 7.39 puede ser considerado normal por algunos autores y bajo ciertas circunstancias.^{31, 37}

II. Acidosis.

Proceso en el cual hay una ganancia de ácidos o una pérdida de bicarbonato o ambos. Esto ocasiona una reducción del pH y la pCO₂ se encuentra por encima de los valores normales.^{31, 37}

III. Acidosis metabólica.

Es el proceso más frecuente, y se caracteriza por tener una ganancia de ácidos no volátiles ácido láctico principalmente (derivado de la glucogénesis y la gluconeogénesis),^{10, 44} o una pérdida de bicarbonato o ambos, es decir una pérdida de tampones básicos,³³ con una compensación incompleta fisiológica respiratoria ($\text{PCO}_2 \downarrow$ o hipocapnia). De esto resulta una reducción en el pH.³⁷

La compensación respiratoria esperada es de una disminución del PCO_2 de 0.7 mm de Hg por cada mml/L que disminuya el bicarbonato, es por ello que es incompleta.³⁷ Además los riñones son incapaces de eliminar los H^+ generados.^{32,33}

IV. Acidosis respiratoria.

Esta alteración aparece cuando los pulmones son incapaces de eliminar CO_2 (hipercapnia),³² causada por obstrucción de vías aéreas, depresión del centro de la respiración (traumatismos o medicamentos), procesos restrictivos de la respiración (efusión torácica, neumotórax, hernia diafragmática, distensión abdominal y fracturas o lesiones de las paredes del tórax), enfermedades pulmonares o por mezcla de dos o más causas. Esta se acompaña de una compensación incompleta fisiológica metabólica (h 0.35 mmol/L HCO_3^- por cada mm de Hg que aumente la PCO_2).³⁷

V. Alcalemia.

Aumento del pH sanguíneo en relación con los valores de referencia.^{31,37}

VI. Alcalosis

Se presenta cuando hay una pérdida de cloro o una disminución de la PCO_2 . Esto ocasiona un incremento del pH.³⁷

VII. Alcalosis metabólica

Es el resultado de una pérdida excesiva de H^+ por el organismo, una transferencia de H^+ del compartimento extracelular al intracelular, o de una función excesiva de soluciones alcalinas, como el bicarbonato sódico.³²

Durante este proceso hay una pérdida de cloro o un incremento de HCO_3^- (por terapia excesiva), con una compensación incompleta fisiológica respiratoria (los quimiorreceptores del centro de la respiración detectan la alcalosis, respondiendo con una hipoventilación de lo que resulta un incremento de la PCO_2 de 0.7 mm de Hg por cada mmol/L que incrementa el HCO_3^-). Esto produce un aumento del pH. Las causas más comunes son el vómito o el secuestro del cloro en el estómago en casos de torsión. Otras causas incluyen el empleo de la furosamida o de mineralocorticoides.^{31, 37}

VIII. Alcalosis respiratoria.

Es el resultado de una ventilación alveolar excesiva, de la que se deriva una disminución de la PCO_2 (hipocapnia)³² causado por hipoxemia, estimulación directa del centro de la respiración, estimulación de los receptores nociceptivos (que captan el dolor), como el edema pulmonar, neumonías embolias, etc. Esta se acompaña de una compensación incompleta fisiológica metabólica ($HCO_3^- \downarrow$).³⁷

IX. TCO_2 .

Es la cantidad total de CO_2 que se puede extraer del plasma. Este incluye al CO_2 disuelto y al HCO_3^- , donde el H_2CO_3 y el CO_2 corresponden 5% del total, mientras que el HCO_3^- , a 95%. Por lo tanto, el TCO_2 se considera como una medida aproximada del HCO_3^- menos de 1 a 2 mmol/L en los individuos normales.³⁷

X. Exceso o déficit de base (Be+ o Be-).

Representa solamente el componente metabólico o cambio de los ácidos no volátiles o del bicarbonato, porque se calcula bajo condiciones ideales, es decir, con una PCO₂ de 40 mm Hg, temperatura de 38° C y no se considera la capacidad amortiguadora de la hemoglobina.

Los valores de referencia en general se mantienen en 0±3.

Valores >3= alcalosis metabólica y <-3= acidosis metabólica³⁷

2.6.1 TRASTORNOS ELECTROLITICOS

Valoración de los electrolitos, sodio, potasio y calcio.

La concentración de sodio, potasio y calcio se valoran generalmente a partir de muestras de suero, y plasma (con heparina de litio).³¹ Los valores de referencia en el cerdo se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Valores de referencia para electrolitos en sangre	
Electrolito	Valores normales en el Cerdo
Sodio (mmol/L)	135-150
Potasio (mmol/L)	4.4-6.7
Cloro (mmol/L)	94-106
Calcio (mmol/L)	1.77-2.89
Magnesio (mmol/L)	1.11-1.52
Fosforo (mmol/L)	1.71-3.09
pH	7.39
pCO ₂ (mm Hg)	44.3

Adaptado de Kaneko et al (Clinical Biochemistry of Domestic Animals) 1997⁴¹

Variaciones en la concentración de sodio

1. Hiponatremia

La falta de sal cuando sus necesidades están aumentadas, por afección renal que es incapaz de limitar las pérdidas de sodio o cuando existe eliminación anormal de líquidos orgánicos ricos en este electrolito (hemorragia crónica, pérdidas de líquido céfalo raquídeo), como ocurre en la diarrea o durante la aspiración intestinal, son las causas más frecuentes. También una situación de hiperosmolaridad que causa hipertonicidad, como ocurre tras la administración intravenosa (i.v.) de manitol o glucosa y en la diabetes mellitus (por hiperglucemia), impulsará el agua intracelular hacia el espacio extracelular diluyendo el sodio.

Las fibrilaciones musculares, aumento de la excitabilidad neuromuscular, dolores y calambres musculares, y en casos extremos convulsiones, son los síntomas que están presentes pero no son exclusivos, pues animales con otros procesos como hipocalcemia, hiperpotasemia o hipercloremia también los manifiestan. Los estados de hiponatremia muy marcados pueden mostrar signos de hipotensión y disminución de la diuresis.

2. Hipernatremia

La mayoría de las veces se genera esta situación cuando, además de ingresar cantidades importantes de sodio en el organismo (bicarbonato sódico, soluciones salinas hipertónicas), el riñón presenta incapacidad de su eliminación, con lo que pasa agua del espacio intracelular al extracelular (deshidratación celular) por aumento de la osmolaridad, lo que justifica los signos del animal enfermo.

De los análisis de sangre se desprende una cifra aumentada de sodio, que se corresponde con el aumento de la presión osmótica, la tendencia a la ingestión de agua y las alteraciones del sistema nervioso central, representadas por excitación, delirio y en casos graves coma. Algunos animales, por el contrario a lo esperado, muestran rechazo a la bebida (adipsia) que es debida a disfunción hipotalámica, la cual puede no estar asociada con otros signos evidentes de afección del SNC.

Variaciones de la concentración de potasio

I. Hipokalemia (hipopotasemia)

La pérdida excesiva del potasio corporal puede deberse al vómito, diarrea, administración de soluciones inadecuadas o poliuria de cualquier causa. También puede llevar a esta situación la hiperactividad de los mineralocorticoides, que potencian la eliminación de potasio por la orina (caliuresis) y las hipomagnesemias que también generan la pérdida a través del riñón.

Se habla de hipokalemia cuando los niveles en sangre descienden, viéndose afectadas las células musculares, tanto lisas como estriadas y que en situaciones acusadas afecta también a la musculatura de los vasos que puede conducir a colapso y que junto a la parálisis cardiorrespiratoria justifican la muerte de los animales enfermos. Como se ha señalado anteriormente, aparte de los niveles sanguíneos de potasio que se verán disminuidos, el animal enfermo nos ofrecerá signos musculares, cardiopulmonares y digestivos.

La hipotonía muscular se manifiesta por movimientos penosos, debilidad muscular y flacidez de las extremidades que le obligan a permanecer largos periodos de tiempo en decúbito, pudiendo llegar a la inmovilidad por imposibilidad de efectuar movimientos voluntarios. Al palpar las masas musculares están flácidas y al provocar los reflejos tendinosos, estos o están disminuidos o ausentes

(hiporreflexia), mas raramente pueden presentar delirio y coma. Paralelamente el aparato digestivo entra en un estado parésico, al mismo tiempo la vejiga urinaria puede encontrarse paralizada dando lugar a retención. En casos graves de hipokalemia pueden morir los animales por parálisis del musculo respiratorio.

II. Hiperkalemia (hiperpotasemia)

Prácticamente en los animales domésticos la situación de hiperkalemia se reduce a aquellas que se originan por un mayor aporte de potasio o como consecuencia de grandes destrucciones de tejidos (post-quirúrgicas, traumatismos masivos, aplastamientos, quemaduras importantes), al ser, las células muy ricas en este electrolito. Estas situaciones presentan problemas serios para el animal cuando la funcionalidad renal está alterada, con lo que se establecería un estado más o menos intenso de hiperkalemia.

Podemos decir que el organismo, ante la presencia de cantidades anormalmente altas de potasio en el espacio extracelular, responde restringiendo los ingresos y con un aumento de las perdidas a través del riñón, cuando por alteración renal o puede corregirse la situación, los niveles aumentan hasta el punto de morir el animal por parada inmediata y brusca en diástole del corazón.

Variaciones en la concentración de Calcio

Es indispensable mantener un equilibrio de ácidos y bases para conservar el pH sanguíneo en rangos muy estrechos, de manera constante, y así permitir el buen funcionamiento de los sistemas enzimáticos celulares y la concentración de las formas ionizadas (activas) de varios electrolitos, como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , que influyan en la velocidad de las reacciones metabólicas y los sistemas de transporte transmembranario.³⁷

El calcio sérico se encuentra en el organismo bajo tres formas, cuyos porcentajes varían dependiendo de la especie que se trate: a) una en forma iónica, que constituye aproximadamente el 50%, b) una ligada a proteínas, que suele representar un 40% y c) una forma de complejos, que se acerca al 10% restante. El calcio activo es el ionizado.⁴⁴ Durante la acidosis metabólica crónica, los huesos aportan una reserva de amortiguadores que contribuye a mantener el pH sistémico. En estas condiciones, el exceso de H⁺ y los bajos niveles de HCO₃⁻ en el líquido extracelular promueven una reacción fisicoquímica a nivel óseo que junto con los osteoclastos conduce a disolución del hueso, lo que produce la liberación de carbonato que equilibra los protones H⁺.⁴⁰ La determinación del calcio plasmático se realiza principalmente en casos de sospecha de hipercalcemia o hipocalcemia. Los orígenes más frecuentes de estas se observan en el cuadro 9.⁴⁵

Cuadro 9. Causas de hiper e hipo calcemia	
Principales causas de hipercalcemia	Principales causas de hipocalcemia
<ul style="list-style-type: none"> -Endocrina <ul style="list-style-type: none"> Hiperparatiroidismo primario Insuficiencia corticoadrenal Hipertiroidismo -Neoplasias <ul style="list-style-type: none"> Linfosarcoma Adenocarcinoma de las glándulas apocrinas de los sacos anales Adenocarcinoma mamario Osteolisis local -Farmacológicas <ul style="list-style-type: none"> Hipervitaminosis D Diuréticos tiacídicos -Otras <ul style="list-style-type: none"> Insuficiencia renal aguda Insuficiencia renal crónica Hemoconcentración Hiperproteinemia 	<ul style="list-style-type: none"> -Hipoalbuminemia <ul style="list-style-type: none"> Síndrome nefrótico Cirrosis hepática -Hipoparatiroidismo <ul style="list-style-type: none"> Idiopático Quirúrgico Pseudohipoparatiroidismo -Insuficiencia renal crónica y aguda <ul style="list-style-type: none"> Deficiencia de 1,25 DHCC Hiperfosfatemia -Alteración del metabolismo de la vitamina D <ul style="list-style-type: none"> Deficiencia de vitamina D Malabsorción Trastornos hepáticos Raquitismo -Otros <ul style="list-style-type: none"> Intoxicación por etilén glicol Pancreatitis aguda Hipomagnesemia Eclampsia puerperal Agentes quelantes (EDTA, ácido oxálico)
Adaptado de Montaña FP (Exploración Clínica Veterinaria) 1999 pp.182 ⁴⁵	

2.6.2 Valoración de Glucosa y Lactato.

Glucosa

En general valores persistentes de glucosa en ayunas superiores a 150 mg/dl indican diabetes *mellitus*. Valores de glucosa entre 120 y 150 mg/dl no son definitivos y es necesario descartar la presencia de diabetes mellitus por medio de la prueba de tolerancia a la glucosa. Valores inferiores a 60-40 mg/dl nos indican la existencia de hipoglucemia y para conocer la causa es necesario determinar la insulinemia y, en algunos casos, realizar la prueba de tolerancia al glucagón.⁴⁵

Lactato

El lactato es la forma disociada del ácido láctico ($C_3H_6O_3$)^{36,46} el cual aumenta al activarse la vía anaerobia de degradación de la glucosa,⁴⁴ produciendo acidosis metabólica. Cuando las necesidades energéticas son bajas, se produce prácticamente una continuidad entre los procesos anaeróbico láctico y aeróbico, de forma que la mayor parte del ácido pirúvico que se produce entra en la vía aeróbica (así que hay una mínima producción de ácido láctico y se refleja en un mínimo aumento del lactato sanguíneo).^{44,46} Sin embargo cuando la necesidad de obtener energía para la contracción muscular es elevada (debido a la intensidad del ejercicio físico) aumenta de forma importante la utilización de la glucosa por la vía anaeróbica y hay un aumento significativo en la formación de ácido pirúvico. Como consecuencia de ello hay una sobreproducción de ácido pirúvico y este exceso de ácido pirúvico es convertido en ácido láctico y lactato.^{44,}

46

La diferencia entre la cantidad de lactato que entra en el torrente sanguíneo y la cantidad de lactato que sale del mismo es la cantidad resultante que encontramos en sangre. Por tanto, el lactato sanguíneo está en relación con ambos procesos de entrada y salida, por lo que no siempre el lactato medible nos muestra directamente la producción de lactato a nivel muscular, sino que es el resultado final en el que han entrado todos los procesos de neutralización, reutilización, etc.⁴⁶

3. HIPÓTESIS

El mantener a la cerda en la sala de maternidad y separarla de su camada, ocasionará desequilibrios sanguíneos a nivel metabólico, ácido-base y de intercambio gaseoso.

4. OBJETIVOS

Objetivo General

El objetivo del presente estudio fue evaluar de manera integral el sistema biológico en cerdas destetadas a 21 días a través de variables bioquímicas sanguíneas.

Objetivos Específicos

1. Establecer los ajustes metabólicos en las cerdas destetadas durante las primeras horas de separación y siguientes 3 días.
2. Valorar los cambios en el equilibrio ácido-base y mineral en cerdas a las que se les ha retirado la camada.

5. JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de las interacciones celulares y su medio externo, a través de la medición de los diferentes electrolitos disueltos en el plasma sanguíneo, proveniente de muestras sanguíneas, obtenidas del torrente venoso de la cerda, supone un avance en el área de la zootecnia y la producción de manera directa, ya que el conocimiento de los sistemas de compensación fisiometabólica sanguínea, con que cuenta la cerda productiva, permitirá establecer nuevas estrategias en el manejo correcto de las cerdas, previo, durante y posterior al destete.

Aunado a esto se sabe que actualmente la valoración del equilibrio ácido-base y la evaluación de gases y electrolitos sanguíneos en producción animal, es poco común o inexistente, debido al desconocimiento de los principios fisiológicos de respuesta ante los diversos estímulos como el estrés, o bien también es bien sabido que la realización de dichos estudios no son costeables desde el punto de vista productivo y por tal razón resulta imposible realizarlos. Debido a lo anterior no existen estudios previos que pudieran servir como punto de referencia, en la mayoría de especies productivas en sus distintos estados fisiológicos, si bien se ha comenzado ya el trabajo en algunas etapas, relacionadas sobre todo a animales neonatos, aún el campo de estudio que puede brindar el estudio de perfiles metabólicos sanguíneos es muy extenso.

Por tal razón resulta de gran importancia la realización del presente estudio, que podrá ofrecer un punto de referencia para estudios posteriores, y que enriquecerá significativamente el conocimiento de las bases metabólicas de regulación sistémica ante un estímulo estresante, como lo es el destete en la cerda a los 21 días de lactación.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Número de animales y localización

El estudio fue realizado en dos granjas, el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP), de la FMVZ de la UNAM, ubicado en el Km. 2 de la carretera Jilotepec-Corrales, en Jilotepec, Estado de México, que se denominará como Granja A, y una granja porcina comercial ubicada en el Domicilio Conocido, Valle de Mezquital, Estado de Hidalgo que a partir de ahora se denominará Granja B.

Se monitorearon 59 cerdas y se seleccionaron para el muestreo sanguíneo.

Cerdas

En ambas granjas, las hembras fueron alojadas en jaulas individuales con piso plastificado, 4 días previos al parto y hasta 24 días postparto (periodo que abarca hasta el destete).

La alimentación proporcionada a cada cerda durante los días previos al parto incluyó 3.0 kilogramos diarios de alimento concentrado comercial tipo lactación (12.2 MJ ME/kg y 15% CP). En los primeros 6 días de lactancia, la cantidad de alimento fue creciente, dando 1 kg más por cada día que paso; y a partir del día 7 y hasta el destete, se dieron cantidades que llegaron al tope del consumo voluntario. El agua fue proporcionada *ad libitum* a través de bebederos de chupón. Para cada una de las cerdas incluidas en el estudio, se obtuvo un estimado de la fecha probable del siguiente parto y estuvo en función de la duración de las gestaciones anteriores.

El monitoreo de las cerdas se realizó desde 3 días previos a la fecha probable de destete en la sala de maternidad. Una vez realizada la separación de los lechones, las cerdas permanecieron 72 horas en la jaula de maternidad.

Teléfonos celulares, televisiones, radios u otros aparatos que causan ruido no fueron ingresados a la granja con el fin de disminuir el grado de estrés, así mismo, los animales fueron tratados humanamente durante el desarrollo del estudio de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana O62-ZOO-1999 para el manejo de animales de experimentación.

Muestreo sanguíneo

Las muestras sanguíneas basales se tomaron 24 horas previas a la separación de la vinculación madre-cría.

El resto de las muestras sanguíneas se realizaron a la hora, 6, 24, 48 y 72 horas posteriores al destete.

En las cerdas, el muestreo se realizó con jeringa de 3 ml de la vena yugular, inmovilizando a la cerda con un lazo trompas y sujetándola a la jaula, en un tiempo no mayor a 1 minuto y preferentemente en menos de 30 segundos, en caso contrario no se tomó la muestra.

La toma de muestras está clasificada como Categoría B en Experimentos que causan molestia o estrés mínimo, de acuerdo con el Apéndice A Informativo (Clasificación de actividades experimentales de acuerdo al grado de invasión, molestia o daño producido sobre los animales de laboratorio) de la NOM-062-ZOO-1999, debido a que consiste en una restricción momentánea del animal con propósitos de observación clínica, evitando al máximo el sufrimiento de los animales.

La sangre obtenida de la vena yugular, con jeringas previamente heparinizadas fue depositada en un analizador de electrolitos, sustratos y gases en sangre (GEM Premier 3000, Instrumentation Laboratory Diagnostics S. A. de C. V. México) a fin de obtener los gases en sangre pH, [pCO₂ (mm Hg)], [pO₂ (mm Hg)]; Glucosa (mg/dL), bicarbonato, electrolitos [Na⁺, K⁺ y Ca⁺ (mmol/L)], niveles de lactato (mg/dL) y hematocrito.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se presentan como medias, errores estándar y desviación estándar.

Para determinar la existencia de diferencia significativas entre las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

En el total de los análisis estadísticos se utilizó el programa SAS ver. 6.12 (1997).

8. RESULTADOS

En el Cuadro 10 se muestra la media y el error estándar de las medias correspondientes a las variables críticas sanguíneas postdestete en el centro productivo A. Se observa la presencia de diferencias significativas en las variables pH, pCO₂, pO₂, Ca²⁺, glucosa, lactato y hematocrito, es decir, el tiempo postdestete afecta las variables críticas sanguíneas. En el caso de la variable pCO₂, en la primera evaluación post destete (6 hrs) se observa el valor más alto, mismo que es estadísticamente diferente con el valor reportado a las 72hrs (p<0.05). Para la variable pO₂ los niveles basales resultan estadísticamente diferentes con los valores determinados a las 24 y 48 hrs (p<0.05). Los niveles de glucosa y lactato se incrementaron drásticamente durante las primeras 6 hrs, resultando diferentes estadísticamente con los niveles basales (p<0.05). Aunado a lo anterior se observó un incremento en la concentración de Ca²⁺ plasmático al destete, sin embargo solo se presentaron diferencias estadísticas a las 48 hrs en contraste con los niveles basales.

El Cuadro 11, presenta la media y error estándar de la media para las variables críticas sanguíneas determinadas a diferentes tiempos postdestete y en la granja comercial B. Es importante señalar que en todas las variables se observan diferencias significativas (p<0.05) a excepción de las concentraciones de K. Es decir el destete es un proceso evidentemente estresante que desencadena durante las primeras horas acidosis, hipercapnia, hipoxia, hiponatremia, hipercalcemia, hiperglucemia, hiperlactemia e incluso incremento de los niveles de hematocrito (eritrocitosis); estos últimos debido probablemente al aumento de las contracciones esplélicas originadas por el estímulo estresante. Conforme se va incrementando el tiempo postdestete (72 hrs) se observa que la mayoría de las variables empiezan a normalizarse en comparación con los valores basales.

Cuadro 10. Medias y error estándar de las variables críticas sanguíneas de cerdas muestreadas en 5 momentos diferentes durante el destete de sus camadas (GRANJA A, n=14).

	Basal	6	24	48	72
pH	7.43±0.01 ^a	7.34±0.01 ^b	7.44±0.01 ^a	7.43±0.01 ^a	7.47±0.01 ^a
pCO2 (mmHg)	47.94±2.89 ^{ab}	51.29±2.56 ^a	45.35±2.05 ^{ab}	47.38±2.28 ^{ab}	38.64±2.33 ^b
pO2 (mmHg)	33.52±1.50 ^a	28.0±1.81 ^{ab}	24.52±1.28 ^b	26.94±1.20 ^b	30.0±1.96 ^{ab}
Na (mmol/L)	140.94±0.48 ^a	139.76±0.90 ^a	139.52±1.20 ^a	139.5±0.52 ^a	139.47±1.02 ^a
K (mmol/L)	5.13±0.12 ^a	5.07±0.11 ^a	5.48±0.41 ^a	5.38±0.29 ^a	4.92±0.13 ^a
Ca (mmol/L)	1.26±0.01 ^b	1.37±0.02 ^{ab}	1.32±0.01 ^{ab}	1.38±0.01 ^a	1.36±0.05 ^{ab}
Glu (mg/dl)	70.0±2.35 ^b	86.05±2.67 ^a	82.05±3.57 ^a	65.14±2.78 ^b	63.76±2.55 ^b
(g/L)	0.7	0.8605	0.8205	0.6514	0.6376
Lac (mg/dl)	22.94±1.54 ^b	37.97±2.85 ^a	28.29±2.60 ^{ab}	22.14±2.01 ^b	21.35±3.04 ^b
(g/L)	0.2294	0.3797	0.2829	0.2214	0.2135
Htc (%)	39.35±0.87 ^b	44.38±0.85 ^a	41.52±0.84 ^{ab}	41.47±0.68 ^{ab}	38.05±1.56 ^b
(L/L)	0.3935	0.4438	0.4152	0.4147	0.3805

a, b, c. Literales diferentes indican diferencias estadísticas significativas a la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Cuadro 11. Medias y error estándar de las variables críticas sanguíneas de cerdas muestreadas en 5 momentos diferentes durante el destete de sus camadas (GRANJA B, n=45)

	Basal	6	24	48	72
pH	7.46±0.005 ^a	7.34±0.006 ^c	7.37±0.01 ^c	7.42±0.006 ^b	7.48±0.008 ^a
pCO2 (mmHg)	35.44±0.67 ^c	59.66±1.00 ^b	46.53±1.60 ^b	46.42±1.27 ^b	33.2±1.00 ^c
pO2 (mmHg)	36.08±1.14 ^a	23.93±0.69 ^c	29.17±1.07 ^b	31.31±0.67 ^b	29.91±1.25 ^b
Na (mmol/L)	140.93±0.31 ^a	138.68±0.54 ^b	139.44±0.75 ^{ab}	139.46±0.32 ^{ab}	140.02±0.45 ^{ab}
K (mmol/L)	5.10±0.06 ^a	5.01±0.06 ^a	4.98±0.07 ^a	5.25±0.14 ^a	4.91±0.08 ^a
Ca (mmol/L)	1.27±0.007 ^c	1.46±0.01 ^a	1.31±0.008 ^c	1.38±0.01 ^b	1.41±0.01 ^{ab}
Glu (mg/dl)	61.73±1.02 ^d	86.42±1.68 ^a	76.37±1.65 ^d	68.97±1.83 ^c	65.68±1.27 ^{cd}
(g/L)	0.6173	0.8642	0.7637	0.6897	0.6568
Lac (mg/dl)	23.86±0.56 ^c	46.62±0.89 ^a	31.88±1.13 ^b	24.53±1.30 ^c	22.68±0.87 ^c
(g/L)	0.2386	0.4662	0.3188	0.2453	0.2268
Htc (%)	37.04±0.44 ^c	45.75±0.40 ^a	41.24±0.44 ^b	41.66±0.41 ^b	38.55±0.90 ^c
(L/L)	0.3704	0.4575	0.4124	0.4166	0.3855

a, b, c, d. Literales diferentes indican diferencias estadísticas significativas a la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El Cuadro 12 engloba la media y error estándar para la comparación de la variable pH a diferentes tiempos pos destete y en 2 centros productivos. Se reportan diferencias significativas entre los centros productivos en los niveles basales y a las 24 hrs. Dichas diferencias se deben básicamente al manejo pre y post destete al que se someten los animales, es decir los animales del centro productivo B tardaron cerca de 48 h. en regresar a sus niveles basales; mientras que los animales del centro productivo A solo les tomó 24 h. aproximadamente.

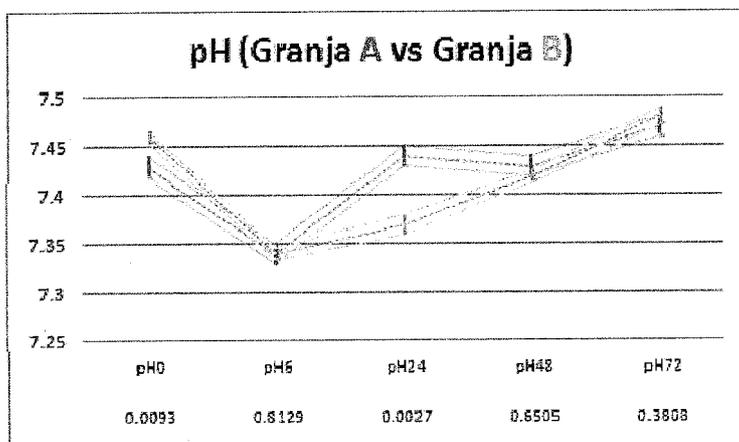
La comparación de los niveles de Ca^{2+} reportados en los dos centros productivos se muestra en el Cuadro 13; solo se observan diferencias estadísticas a las 6 hrs, siendo el centro productivo B el que presentó los valores más altos. Sin embargo, por otro lado es importante mencionar que los niveles de Ca^{2+} pos destete se mantienen por arriba de los niveles basales en ambas granjas.

La media y error estándar de la media de la comparación de los niveles de glucosa entre las dos granjas se observa en el Cuadro 14. La única diferencia significativa ($p < 0.05$) se dio al comparar los niveles basales, en donde los animales de la granja B presentaron los valores más bajos. En ambas granjas se observó una movilización de glucosa al torrente sanguíneo durante las primeras horas posdestete.

En el Cuadro 15 se muestra la media y error estándar de los niveles de lactato determinados a diferentes tiempos pos destete y en dos centros productivos. Hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las granjas a las 6 hrs pos destete; el resto de los tiempos evaluados estadísticamente es igual.

Cuadro 12. Media y error estándar del pH entre cerdas de diferentes granjas evaluadas a diferentes tiempos.

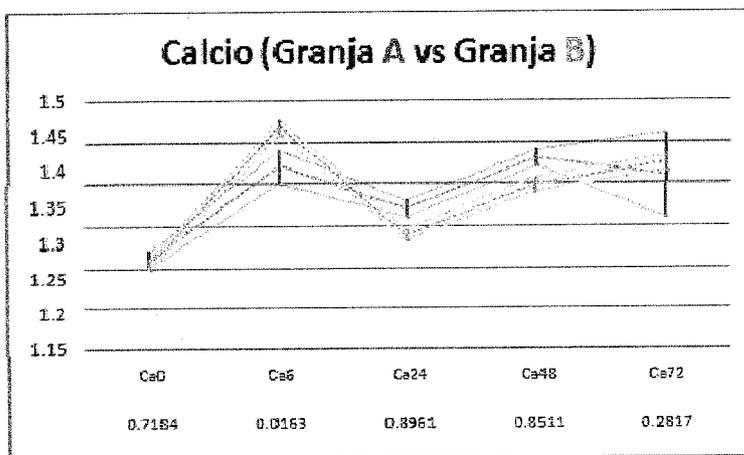
	Granja A	Granja B	P
pH ₀	7.43±0.01	7.46±0.005	0.0093
pH ₆	7.34±0.01	7.34±0.006	0.8129
pH ₂₄	7.44±0.01	7.37±0.01	0.0027
pH ₄₈	7.43±0.01	7.42±0.006	0.6505
pH ₇₂	7.47±0.01	7.48±0.008	0.3808



Esquema 1. Comparación del comportamiento del pH (media y error estándar) entre cerdas de diferentes granjas evaluadas en 5 momentos diferentes.

Cuadro 13. Media y error estándar del Ca^{2+} (mmol/L), entre cerdas de diferentes granjas evaluadas a diferentes tiempos.

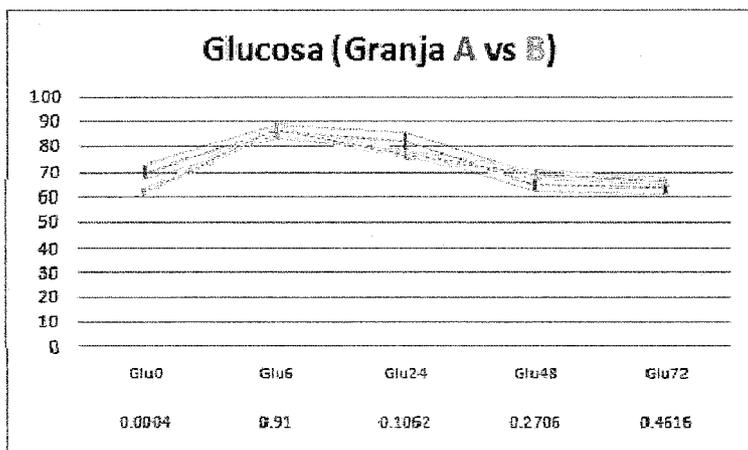
	Granja A	Granja B	P
Ca ₀	1.26±0.01	1.27±0.007	0.7184
Ca ₆	1.37±0.02	1.46±0.01	0.0163
Ca ₂₄	1.32±0.01	1.31±0.008	0.8961
Ca ₄₈	1.38±0.01	1.38±0.01	0.8511
Ca ₇₂	1.36±0.05	1.41±0.01	0.2817



Esquema 2. Comparación del comportamiento del Ca^{2+} (media y error estándar) entre cerdas de diferentes granjas evaluadas en 5 momentos diferentes.

Cuadro 14. Media y error estándar de los niveles de glucosa (mg/dl), entre cerdas de diferentes granjas evaluadas a diferentes tiempos.

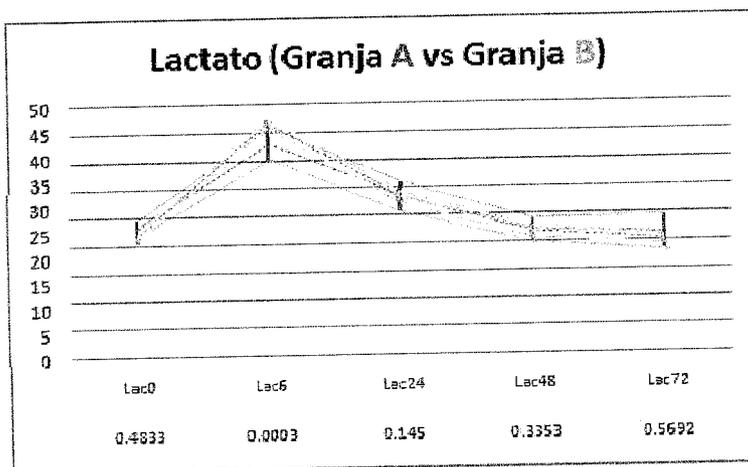
	Granja A	Granja B	P
Glu ₀	70.0±2.35	61.73±1.02	0.0004
Glu ₆	86.05±2.67	86.42±1.68	0.9100
Glu ₂₄	82.05±3.57	76.37±1.65	0.1062
Glu ₄₈	65.14±2.78	68.97±1.83	0.2706
Glu ₇₂	63.76±2.55	65.68±1.27	0.4616



Esquema 3. Comparación del comportamiento de la Glucosa (media y error estándar) entre cerdas de diferentes granjas evaluadas en 5 momentos diferentes.

Cuadro 15. Media y error estándar de los niveles de lactato (mg/dl), entre cerdas de diferentes granjas evaluadas a diferentes tiempos.

	Granja A	Granja B	P
Lac ₀	22.94±1.54	23.86±0.56	0.4833
Lac ₆	37.97±2.85	46.62±0.89	0.0003
Lac ₂₄	28.29±2.60	31.88±1.13	0.1450
Lac ₄₈	22.14±2.01	24.53±1.30	0.3353
Lac ₇₂	21.35±3.04	22.68±0.87	0.5692



Esquema 4. Comparación del comportamiento del Lactato (media y error estándar) entre cerdas de diferentes granjas evaluadas en 5 momentos diferentes.

9. DISCUSIÓN

La respuesta fisiometabólica de la cerda ante el desequilibrio de sus constantes metabólicas implica la participación de diversos procesos y sistemas, de los cuales echa mano para compensar la pérdida o ganancia de ácidos, bases y buffers. Dichos sistemas incluyen los amortiguadores plasmáticos, intra, extra y transcelulares, así como los mecanismos respiratorios mediante la retención o eliminación de ácidos volátiles, la función renal eliminando ácidos y reteniendo bicarbonato, la actividad hepática que metaboliza ácidos en sus respectivas sales y la actividad ósea que absorbe hidrogeniones.

La gasometría sanguínea revela el desequilibrio fisiometabólico causado por el estímulo estresante que se evalúa en este caso: el destete, mismo que se compara en dos granjas diferentes, ante el cual la respuesta es muy similar aunque se ve aumentada en la granja comercial, y con una recuperación distinta, posiblemente aunada a los valores alcanzados.

El estrés a causa del destete en las cerdas evaluadas en ambas granjas provoca cambios en el perfil fisiometabólico de las cerdas destetadas, encontrando también diferencias estadísticas entre ambas debidas básicamente a la diferencia en el manejo del destete, encontrando los valores más alterados respecto a la basal en el centro productivo B, y los mayores incrementos en la concentración de los distintos analitos durante las primeras horas siguientes al destete.

Evaluación del equilibrio ácido-base

El pH, como medida del equilibrio ácido base muestra un incremento durante las primeras 6 horas postdestete, al ser este muestreo el más cercano al destete el cual ocasiona diversos cambios fisiológicos que se manifiestan por intranquilidad de la cerda y vocalización prolongada,^{3,4,5} acompañada de aumento de la actividad física, y una consecuente disminución del pH derivando en acidosis metabólica por ganancia de ácidos orgánicos anión gap elevado (ANV: Ácidos no volátiles o Anión gap, representados por ácido láctico, sulfatos, fosfatos, cuerpos cetónicos, sales de ácidos urémicos y ácidos exógenos como salicilatos y oxalatos), siendo la acidosis metabólica de origen endógeno, por ganancia y consecuente aumento de la concentración de lactato (hiperlactemia) e hipoxia tisular.³⁷ A pesar de que hay una disminución de bicarbonato por ser este empleado como amortiguador de los ácidos orgánicos, se descarta la acidosis metabólica endógena por pérdida de bicarbonato, debido a que ninguna de las cerdas mostró diarrea o algún otro signo que pudiera provocar esta condición en la cerda. Dependiendo de los cuidados pre y post destete el pH puede estabilizarse de 24 a 72 horas, tal como se observa en el centro productivo A y B, respectivamente. Por lo cual, si se limita al máximo la exposición de la cerda a estímulos estresantes, y se le brinda un ambiente de confort y descanso, esto se verá reflejado en un rápido retorno de las constantes metabólicas sanguíneas a sus niveles basales, preparando rápidamente a la cerda para su siguiente ciclo productivo.

Evaluación de la respuesta respiratoria.

El aumento en la concentración de CO₂ (hipercapnia) y la consecuente disminución de la concentración de O₂ (hipoxia o hipoxemia), indica una acidosis respiratoria paradójica: la acidemia provoca que los quimiorreceptores del centro respiratorio respondan con una hiperventilación, que también puede estar ya

presente a causa de la actividad física, provocada por el mencionado estado de intranquilidad, la compensación fisiológica y metabólica es incompleta aumentando los niveles de bicarbonato cada que la $p\text{CO}_2$ aumenta, aunque nunca la compensación es capaz de llevar ni el pH ni la $p\text{CO}_2$ a los valores de referencia, en este caso la concentración basal, sino hasta 24 horas después en el caso del pH tardando mucho más en estabilizar los niveles de CO_2 y O_2 , por ser la respiración un sistema de amortiguamiento más dinámico y fácilmente variable, en el que la falta del estímulo del lechón ocasiona trastornos en la concentración de los gases sanguíneos más factibles de amortiguar, pero por un tiempo más prolongado. Por otro lado, la hipoxia además de tener relación directa con la variable pH, influye en la activación de vías metabólicas energéticas alternativas, tales como la glucólisis anaerobia,^{44,47} y la glicogenólisis hepática.²⁸

Evaluación de la respuesta ósea

El calcio en su forma activa (ionizado) influye en diversas reacciones metabólicas y en los sistemas de transporte transmembranario, siendo este último un mecanismo amortiguador de pH, mediante el intercambio de iones K^+ y H^+ .³⁷ También el calcio sale de la médula ósea para sustituir los iones H^+ y mantener el equilibrio ácido-base. El calcio se ve aumentado después del destete, lo cual nos haría pensar que los huesos aportan una reserva amortiguadora en respuesta a la alta concentración de hidrogeniones y a la baja cantidad de bicarbonato circulante, sin embargo, esta reacción fisicoquímica solo tienen lugar cuando la acidosis metabólica es de tipo crónica y el hecho de que los niveles de calcio plasmático estén por encima de los niveles basales obedece a la alteración del transporte transmembranario ocasionado por la hiperlactecmia que se presenta en las cerdas de ambos centros productivos, la cual condiciona y restringe la entrada de calcio a la célula, provocando un exceso del mismo en el espacio extracelular.

Evaluación de la glucosa y el lactato

En casos de hipoxia es común la activación de la glicogenólisis hepática, lo que provoca hiperglucemia, sin embargo esta vía metabólica tiene el inconveniente que depende de las reservas hepáticas de glucógeno, las cuales se ven evidentemente disminuidas después de una gran demanda energética como lo es la lactancia. El perfil fisiometabólico de las cerdas destetadas muestra diferencias significativas en la concentración basal de glucosa, posiblemente por las diferencias en el manejo alimenticio de ambas granjas, lo cual influye también en las reservas de glucógeno hepático, una marcada hiperglucemia en ambas granjas a las 6 horas pos destete, los niveles de glucosa empiezan a descender a las 24 horas y se cae en hipoglucemia a las 48 en la granja A, lo cual es predecible, al extinguirse las reservas hepáticas. Es notorio que la granja comercial (B) presenta el nivel de glucosa basal más bajo, sin embargo no cae en hipoglucemia lo que se puede atribuir al mejor manejo de la alimentación posdestete,

Cuando se observa una elevada concentración de lactato es un signo de hipoxia tisular,^{37,47} relacionándosele con mayor riesgo de muerte, si se muestran signos de asfixia, esta va seguida de cambios metabólicos y alteraciones en el flujo de sangre cerebral y ocurre un incremento del metabolismo energético y promueve una glucólisis anaerobia.^{44,47} metabolismo oxidativo anaeróbico y se empieza a acumular el ácido láctico, simultáneamente se alteran las bombas iónicas dependientes de energía condicionando la salida de potasio intracelular y entrada de sodio, cloro y calcio a la célula.⁴⁷

En estudios en el que el cerdo se ha utilizado como modelo animal, ante algún estímulo estresante se resalta la relación que tiene el lactato con el pH, y se ha demostrado que este aumenta rápidamente durante los primeros minutos y hasta las dos horas, además que ante las repeticiones, este muestra una

respuesta aumentada, y un lento retorno a los niveles basales, en decremento de su homeostasia plasmática y muscular (Jauchem et al., 2008).¹⁹

En la estimación del lactato se observa en ambas granjas una hiperlactemia a las 6 horas, sin embargo es en este muestreo donde se observa una diferencia entre granjas, estadísticamente significativas lo cual depende directamente del manejo pre y post destete, al igual que en la apreciación hecha para el pH, de este modo se evidencia la relación directa entre lactato y pH, de donde se deduce la hipótesis de que se trata de una acidosis metabólica por ganancia de ácidos no volátiles, con una compensación respiratoria incompleta, con niveles de calcio sérico por encima de los niveles basales, por afectación de los sistemas iónicos de transporte transcelulares por efecto de la presencia de lactato circulante, acompañada de una hiperglucemia transitoria.

10. CONCLUSIONES

1. El destete en la cerda provocó un estado de estrés, que se manifestó por una disminución en los niveles de pH, hipercapnia, hipoxia, hipercalcemia, hiperglucemia e hiperlactemia, lo que dio origen a una acidosis metabólica de origen endógeno.
2. Los efectos del estrés en la pérdida de la homeostasia provocados por el destete, se ven evidentemente influenciados por el manejo de la cerda durante el mismo y las horas contiguas.
3. Las mayores alteraciones en los parámetros sanguíneos ante el estímulo estresante se dieron en las primeras 6 horas, logrando restablecer la mayoría de las variables plasmáticas sanguíneas entre las 24 y 48 horas pos destete. El factor tiempo influyó favorablemente en el restablecimiento de la homeostasis.
4. Las cerdas del centro productivo A, tuvieron una mejor respuesta con respecto a las cerdas del centro productivo B, al recuperar más rápido el equilibrio ácido base, tener una menor hipercalcemia, y recuperarse más rápido de la hiperglucemia y de la hiperlactemia.
5. Las diferencias entre un centro productivo y otro, se deben al manejo pre, durante y posdestete.
6. Existe relación directa e inversamente proporcional entre la variable pH, y el lactato. A mayor concentración del lactato el pH disminuye.
7. Se confirma que el pH es la variable que mas tarda en modificarse y es la primera en corregirse.³³

11. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Main RG, et al. Increasing weaning age improves pig performance in a multisite production system. *J. Anim. Sci* 2004. 82:1499–1507.
- 2) Niekamp SR, et al. Immune responses of piglets to weaning stress: Impacts of photoperiod. *J Anim Sci* 2007. 85:93-100.
- 3) Weary DM, Ross S, and Frasser D. Vocalizations by isolated piglets: a reliable indicator of piglet need directed towards the sow. *Applied Animal Behaviour Science* 1997. 53: 249-257
- 4) Weary DM, Frasser D. Vocal response of piglets to weaning: effect of piglet age. *Applied Animal Behaviour Science* 1997. 54: 153-160
- 5) Weary DM, et al. Understanding weaning distress. *Applied Animal Behaviour Science* 2008. 110: 24-41
- 6) Varley M, Stedman R. Capítulo 15. Stress and Reprodución. *Principles of Pig Science*. Nottingham University Press. Nottingham 1994. 277-295
- 7) Barnett JL, et al. The welfare of adult pigs: the effects of five housing treatments on behavior. Plasma corticosteroids and injuries. *Applied Animal Behaviour Science* 1984. 12: 209-232
- 8) Barnett JL, et al. Effects of social environment on welfare status and sexual behaviour of female pigs. I. Effects of group size. *Applied Animal Behaviour Science* 1986. 16: 249-257
- 9) Hemsworth PH, et al. Effects of social environment on welfare status and sexual behaviour of female pigs. II. Effects of space allowance. *Applied Animal Behaviour Science* 1986. 16: 259-267
- 10) Hemsworth PH, Barnett JL. The effects of aversively handling pigs, either individually or in groups, on their behavior, growth and corticosteroids. *Applied Animal Behaviour Science* 1991. 30: 61-72

- 11) Rodarte LF. Efecto del enriquecimiento ambiental sobre el bienestar de lechones destetados a 14 días de edad. (Tesis de Maestría). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 2001
- 12) Janice M, et al Effects of pre-weaning exposure to a maze on stress responses in pigs at weaning and subsequent performance in spatial and fear-related tests. *Applied Animal Behaviour Science* 2008. 110: 189–202
- 13) Colson V. et al. Consequences of weaning piglets at 21 and 28 days on growth, behavior and hormonal responses. *Applied Animal Behaviour Science* 2006. 98 70-88.
- 14) Willis HJ, Zak LJ, Foxcroft GR. Duration of lactation, endocrine and metabolic state, and fertility of primiparous sows. *J Anim Sci* 2003. 81: 2088-2102.
- 15) Mota-Rojas D. Inducción del estro lactacional en cerdo pelón mexicano confinado y su efecto sobre los parámetros reproductivos. (Tesis de Maestría). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 2001
- 16) Mota-Rojas D, et al. Lactational estrus Induction in the Mexican Hairless sow. *Animal Reproduction Science* 2002. 72: 115-124
- 17) Kuller WI, et al. Intermittent suckling: effects on piglet and sow performance before and after weaning. *J Anim Sci* 2004. 82:405-413.
- 18) Gerritsen R, et al. Early embryo survival and development in sows with lactational ovulation. *Reprod Domest Anim* 2008. 43:59-65.
- 19) Jauchem JR, et al. Acidosis, lactate, electrolytes, muscle enzymes, and other factors in the blood of *Sus scrofa* following repeated TASER[®] exposures. *Forensic Science International* 2006. 161: 20–30
- 20) Gamba MR. Capítulo I: Potencial Productivo de la Cerda Reproductora. La Piara Reproductora. Editorial Mundi Prensa México, D.F. 2002. pp.1-9
- 21) Trujillo OME. Capítulo II: Hembra destetada. Mejoramiento Animal Reproducción. División Universidad Abierta a Distancia y Educación Continua. FMVZ. UNAM. 2004. pp. 39-51

- 22)Murillo PC. Evaluación de la pérdida de grasa dorsal durante la lactancia en cerdas de diferente tipo genético, y su relación con el consumo de alimento y el tamaño de camada. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 2006, pp. 9
- 23)Trujillo OME. Efecto del destete precoz sobre la eficiencia reproductiva en cerdas de diferente numero de parto. (Tesis de Doctorado). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 1998, pp.
- 24)Hansen D. Presentación de celos en la etapa de lactación: ¿Mito o realidad? VI Jornada Internacional en Producción Porcina. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 2008. pp.77-86
- 25)Velasco LE. "Caracterización del estrés oxidativo en prematuros con muy bajo peso al nacimiento según su velocidad de crecimiento en la fase hospitalaria". (Tesis de Especialidad en Neonatología). Instituto Nacional de Perinatología, Subdirección de Neonatología. UNAM. 2008.
- 26)Vargas MA. "Caracterización del estrés oxidativo en prematuros con muy bajo peso al nacimiento según su velocidad de crecimiento en la fase hospitalaria". (Tesis de Especialidad en Neonatología). Instituto Nacional de Perinatología, Subdirección de Neonatología. UNAM. 2009.
- 27)Alonso-Spilbury M, et al. Perinatal asphyxia pathophysiology in pig and human: A review. *Animal Reproduction Science* 2005. 90 1-30
- 28)González M. Determinación de gasometría sanguínea, perfil metabólico de la cerda y valoración neurológica del neonato hipoxémico en partos eutócicos y distócicos, con y sin aplicación de oxitocina. (Tesis de Maestría). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 2007.
- 29)González GL. Determinación del perfil fisiometabólico y valoración neurológica del lechón recién nacido normal Vs. hipóxico con bajo ritmo de crecimiento gestacional, durante la primera semana de vida. (Tesis de Maestría). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, D.F. 2008

- 30)Villanueva GD et al. Capítulo 18: Importancia de la Gasometría Sanguínea en Perinatología. Perinatología y Ginecobstetricia Animal, Enfoques clínicos y experimentales. BM Editores, 1ª Edición, México D.F. 2007, pp. 231,240
- 31)Montaña FP. Capítulo 18: Equilibrio hidrosalino. Equilibrio ácido-básico. Exploración clínica veterinaria. Ediciones Universidad de León, Madrid, España 1999. pp.165-172
- 32)Cullen KC. Capítulo 4. Equilibrio ácido-base. Principios de Clinopatología Médica Veterinaria. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España 1993.pp. 93-106.
- 33)Cunningham JG. Capítulo 51. Homeostasia ácidobásica. Fisiología Veterinaria. Elsevier, 3ª Edición 2003.pp.522-532
- 34)Rodwell VW. Capítulo 3: Agua y pH. Bioquímica de Harper. Editorial El Manual Moderno México D.F. 1994. pp. 17-28
- 35)Mathews CK, Van Holde KE, Ahern Kg. Capítulo 2: La matriz de la vida: interacciones débiles en un medio acuoso. Bioquímica. Pearson Addison Wesley. Tercera Edición. España 2002. pp. 31-63
- 36)García PP, Cano RM. Capítulo 16: Pruebas laboratoriales sanguíneas generales: Hemograma, médula ósea y exploración de la hemostasia. Exploración clínica veterinaria. Ediciones Universidad de León, Madrid, España 1999. pp.147-155
- 37)Núñez OL, Bouda J. Evaluación de equilibrio ácido-base. Patología Clínica Veterinaria. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, D.F. 2007 pp. 138-150
- 38)Carrillo R, Visoso P. Equilibrio ácido base. Conceptos actuales. Disponible en:
<http://www.medigraphic.com/espanol/e-htms/e-medcri/e-ti2006/e-ti06-4/em-ti064e.htm>
- 39)Fisiología del ácido base. Disponible en:
<http://tratado.uninet.edu/c050101.html>

- 40)Cunningham JG. Capítulo 43. Equilibrio ácido-básico. Fisiología Veterinaria. Elsevier, 3ª Edición 2003.pp.522-532
- 41)Carlson GP. Chapter 18. Fluid, Electrolyte, and Acid-Base Balance. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. Academic Press, Fifth Edición 1997. pp. 485-513
- 42)Lehninger AL. Bioquímica (Las bases moleculares de la estructura y función celular). Ediciones Omega S.A. 18ª Edición, Barcelona 1995. pp. 49-56
- 43)Vargas VM. Capítulo 29. Equilibrio ácido-base. Fisiología Médica. Editorial El Manual Moderno. México D.F. 2005. pp. 339-344
- 44)Shimada MA. Capítulo 7. Metabolismos. Nutrición Animal. Editorial Trillas. 3ª Edición 2003, Reimpresión 2007. México D.F. 2007. pp. 134-176
- 45)Diez PI. Capítulo 19: Pruebas de laboratorio plasmáticas y séricas: Sistema endocrino. Metabolismo mineral. Oligoelementos. Perfil metabólico. Exploración clínica veterinaria. Ediciones Universidad de León, Madrid, España 1999. pp.175-186
- 46)Acido Láctico. Disponible en:
http://www.biolaster.com/rendimiento_deportivo/utilidad_acido_lactico
- 47)Shaywitz, B. A. 1987. The sequelae of hypoxic-ischemic encephalopathy. Semin. Perinatol., 11-180.